

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

## **Návrh solárního systému a akumulačního zásobníku**

Solar System Project and Solar Tank Design

Student:

Bc. Jan Dvorský

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava      2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Dvorský**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku**  
**Solar System Project and Solar Tank Design**

Zásady pro vypracování:

Navrhnete systém přípravy teplé vody a přitápění pro rodinný dům obydlený celoročně 5 osobami s využitím přímého slunečního záření.

Technická dokumentace bude obsahovat:

- 1) Stanovení a zhodnocení tepelně-izolačních vlastností domu a potřeby tepla pro vytápění a přípravu TV.
- 2) Návrh solárního systému, kapacitní a bilanční výpočty.
- 3) Návrh solárního akumulčního zásobníku.
- 4) Stanovení environmentálního přínosu, ekonomické zhodnocení.
- 5) Výkresovou dokumentaci s koncepčním návrhem systému, dispozičním řešením a konstrukčním návrhem zásobníku.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.

HUMM, O. *Nízkoenergetické domy*. Praha: Grada, 1999. 353 s. ISBN 80-7169-657-9.

TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání, Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 21.5.2012 .....


..... Jan Dvorský .....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012

  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Dvorský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Starodvorská 261

Krmelín, 739 24

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DVORSKÝ, Jan. *Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku : diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012, 87 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

V diplomové práci je zpracován návrh systému přípravy teplé vody a přitápění pro celoročně obydlený rodinný dům, s využitím přímého slunečního záření. V počátku jsou stanoveny tepelné ztráty rodinného domu pomocí tepelně-izolačních vlastností. Na základě stanovení výpočtové potřeby tepla pro ohřev teplé vody a přitápění, je proveden pomocí bilančních výpočtů návrh solárního systému. Dále je v práci konstrukční návrh akumulčního zásobníku s výměníky tepla solárního a kotlového okruhu, včetně výkresové dokumentace. V závěru je stanoven environmentální přínos systému a také jeho ekonomické zhodnocení se stanovením návratnosti vložených investic.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

DVORSKÝ, Jan. *Solar System Project and Solar Tank Design : Master Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2012, 87 p. Thesis head: Vrtek, M.

The thesis focuses on design of solar hot water system and secondary heating of family house, using direct sun radiation. The family house is used year - round. At the beginning of the thesis was made heat loss calculation of the family house based on evaluation of thermal insulation properties. Draft of solar system is done by calculation balance. Inputs for the calculation are calculated needs of hot water heating and secondary heating. Next part of the thesis contains engineering of storage tank with heat exchangers and solar and boiler circuit, including drawings. The last part of the thesis was concerned environmental and economic benefits of the system and its return of investment calculation.

## Obsah

	strana
<b>Seznam použitého značení.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Sluneční energie [1], [2].....</b>	<b>17</b>
<b>3. Stanovení tepelných ztrát rodinného domu .....</b>	<b>17</b>
3.1. Stanovení výpočtových teplot dle ČSN 06 0210 [9].....	18
3.2. Základní tepelná ztráta prostupem tepla .....	18
3.3. Tepelná ztráta prostupem tepla .....	21
3.4. Tepelná ztráta větráním.....	22
3.5. Celková tepelná ztráta místnosti .....	24
3.6. Celková tepelná ztráta rodinného domu.....	24
<b>4. Návrh solárního systému .....</b>	<b>25</b>
4.1. Volba slunečního kolektoru .....	25
4.2. Potřeba tepla na přípravu TV .....	26
4.3. Potřeba tepla na vytápění .....	28
4.4. Využitelné energetické zisky ze solárních kolektorů.....	29
4.5. Stanovení počtu kolektoru.....	32
4.6. Tepelná bilance solárního systému .....	33
4.7. Návrh solárního okruhu.....	35
4.8. Návrh kotlového přitápěcího okruhu .....	45
4.9. Celkový energetický zisk solárního systému .....	45
<b>5. Návrh solárního akumulčního zásobníku .....</b>	<b>47</b>
5.1. Výpočty společné pro kotlový i solární okruh .....	47
5.2. Výpočet výměníku kotlového okruhu .....	48
5.3. Výpočet výměníku solárního okruhu .....	62
5.4. Návrh pláště akumulčního zásobníku.....	75
<b>6. Environmentální zhodnocení.....</b>	<b>78</b>
<b>7. Ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>81</b>
<b>8. Závěr.....</b>	<b>82</b>
<b>9. Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>83</b>
<b>10. Seznam příloh.....</b>	<b>87</b>

**Seznam použitého značení:**

<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název</b>
A	$[\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Redukovaná teplota (Součinitel charakterizující provozní podmínky kolektoru)
B	$[\text{Pa}^{0,67}]$	Charakteristické číslo budovy
Balance <sub>TV</sub>	$[\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	Tepelná bilance na přípravu teplé vody
Balance <sub>TV+VYT</sub>	$[\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	Tepelná bilance na přípravu teplé vody a vytápění
CIN	$[\text{Kč}]$	Celkové investiční náklady
CZ <sub>měs</sub>	$[\text{hod}]$	Měsíční doba provozu čerpadla
DN	$[\text{let}]$	Prostá doba návratnosti investice
E <sub>cer_rok</sub>	$[\%]$	Procentuální podíl energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla
E <sub>spot</sub>	$[\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Roční spotřeba energie
E <sub>CO2</sub>	$[\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Emise CO <sub>2</sub>
EF <sub>CO2</sub>	$[\text{t} \cdot \text{MWh}^{-1}]$	Emisní faktor CO <sub>2</sub>
E <sub>TL</sub>	$[\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Emise tuhých látek
EF <sub>TL</sub>	$[\text{kg}/10^6 \cdot \text{m}^3]$	Emisní faktor tuhých látek
Gr <sub>k</sub>	[1]	Grashofovo kritérium
Gr <sub>s1</sub>	[1]	Grashofovo kritérium
Gr <sub>s2</sub>	[1]	Grashofovo kritérium
H	$[\text{m}]$	Celková výška klenutého dna
H <sub>d</sub>	$[\text{m}]$	Výpočtová dopravní výška čerpadla
I <sub>c</sub>	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	Celková intenzita záření na plochu
L	$[\text{m}]$	Délka spar otvíratelných částí oken
M	[1]	Charakteristické číslo místnosti
Nu <sub>1,vni</sub>	[1]	Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky
Nu <sub>1,vně</sub>	[1]	Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky
Nu <sub>2,vni</sub>	[1]	Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky
Nu <sub>2,vně</sub>	[1]	Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky
P <sub>1</sub>	$[\text{W}]$	Příkon čerpadla
P <sub>k</sub>	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	Využitý výkon solárních kolektorů

$P_{k-1}$	$[W \cdot m^{-2}]$	Využitý výkon solárních kolektorů za předcházející hodinu
$Pr_{k1}$	[1]	Prandtlovo kritérium teplotního média
$Pr_{k2}$	[1]	Prandtlovo kritérium vody
$Pr_{s1}$	[1]	Prandtlovo kritérium teplotního média
$Pr_{s2}$	[1]	Prandtlovo kritérium vody
$Pr_{s,k}$	[1]	Prandtlovo kritérium určené pro tekutinu při teplotě stěny
$Pr_{stř,k}$	[1]	Prandtlovo kritérium teplotního média
$Pr_{stř,s}$	[1]	Prandtlovo kritérium teplotního média
$R$	[m]	Poloměr vinutí kotlového výměníku
$R$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Odpor při přestupu tepla
$Re_k$	[1]	Reynoldsovo kritérium teplotního média
$Re'_{kr}$	[1]	Kritická hodnota Reynoldsova kritéria
$Re''_{kr}$	[1]	Kritická hodnota Reynoldsova kritéria
$R_{EP}$	$[K \cdot rok^{-1}]$	Roční ekonomický přínos solárního systému
$Re_s$	[1]	Reynoldsovo kritérium teplotního média
$Re_{sp}$	[1]	Reynoldsovo kritérium teplotního média v solárním potrubí
$S$	$[m^2]$	Plocha
$S_1$	$[m^2]$	Průřez potrubí solárního okruhu
$S_A$	$[m^2]$	Skutečná plocha absorberu instalovaných solárních kolektorů
$S_{A\_TV}$	$[m^2]$	Plocha absorberu solárních kolektorů
$S_{A\_TV+VYT}$	$[m^2]$	Plocha absorberu solárních kolektorů
$S_k$	$[m^2]$	Plocha kotlového výměníku
$S_s$	$[m^2]$	Plocha solárního výměníku
$S_{kv}$	$[m^2]$	Průřez trubky kotlového výměníku
$S_{sv}$	$[m^2]$	Průřez trubky solárního výměníku
$Q_c$	[W]	Celková tepelná ztráta
$Q_{c\_zaokrou.}$	[W]	Jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu
$Q_i$	$[kWh \cdot m^{-3}]$	Výhřevnost
$Q_k$	$[Wh \cdot m^{-2}]$	Využitelné energetické zisky solárních kolektorů
$Q_{k\_měsíc}$	$[Wh \cdot m^{-2}]$	Měsíční využitelné energetické zisky solárních



		kolektorů
$Q_{\max}$	$[\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	Maximální tepelný zisk ze solárního systému
$Q_o$	$[\text{W}]$	Základní tepelná ztráta prostupem tepla
$Q_p$	$[\text{W}]$	Tepelná ztráta prostupem tepla
$Q_{\text{pot}}$	$[\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}]$	Potřebné množství tepla na ohřev vody
$Q_{\text{pot,SK}}$	$[\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}]$	Skutečné potřebné množství tepla na ohřev vody
$Q_{t1}$	$[\text{kW}]$	Topný výkon kotlového výměníku
$Q_{t2}$	$[\text{kW}]$	Topný výkon solárního výměníku
$Q_{\text{TV}}$	$[\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	Potřebné množství tepla na ohřev TV za měsíc
$Q_{\text{TV,rok}}$	$[\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Potřebné množství tepla na ohřev TV za rok
$Q_v$	$[\text{W}]$	Tepelná ztráta větráním
$Q_{\text{TV+VYT}}$	$[\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Potřeba tepla na teplou vodu a vytápění
$Q_{\text{VYT}}$	$[\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$	Potřebné množství tepla na vytápění za měsíc
$Q_{\text{VYT,rok}}$	$[\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$	Potřebné množství tepla na vytápění za rok
$Q_z$	$[\text{W}]$	Trvalý tepelný zisk
$\dot{V}_1$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	Objemový průtok teplonosného média potrubím solárního systému
$V_e$	$[\text{l}]$	Objem při změně objemu teplonosného média
$V_{\text{ges}}$	$[\text{l}]$	Celkové expandované množství pro expanzní nádrž
$V_{\text{kol}}$	$[\text{l}]$	Objem teplonosného média v solárním kolektoru
$V_{\text{kv}}$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	Objem průtoku teplonosného média v kotlovém výměníku
$V_m$	$[\text{m}^3]$	Vnitřní objem místnosti
$V_n$	$[\text{l}]$	Jmenovitý objem expanzní nádrže
$V_{\text{so}}$	$[\text{l}]$	Objem teplonosného média v solárním okruhu
$V_{\text{sol}}$	$[\text{l}]$	Objem 1 m solárního výměníku
$V_{\text{sv}}$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	Objem průtoku teplonosného média v solárním výměníku
$V_{\text{trub}}$	$[\text{m}^3]$	Objem trubky zásobníku
$V_{\text{TV,d}}$	$[\text{l} \cdot \text{den}^{-1}]$	Celková potřeba teplé vody na den
$V_{\text{TV,os}}$	$[\text{l} \cdot \text{den}^{-1}]$	Spotřeba teplé vody za den na osobu
$V_v$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový průtok větracího vzduchu
$V_{\text{vál}}$	$[\text{m}^3]$	Objem válcové části klenutého dna
$V_{\text{vH}}$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	Potřebný průtok větracího vzduchu

$V_{VP}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	Objemový tok větracího vzduchu při přirozeném větrání infiltraci
$V_{vrch}$	$[m^3]$	Objem kulového vrchlíku klenutého dna
$V_{vyt}$	$[l]$	Objem teplotonosného média vytlačeny párou z kolektoru
$V_{wv}$	$[l]$	Vodní předloha
$V_z$	$[m^3]$	Objem zásobníku pro cca 2,5 denní potřebu TV
$Zisk_{TV}$	$[kWh \cdot měsíc^{-1}]$	Zisk solárního systému na přípravu teplé vody (bez nadbytku)
$Zisk_{TV\_rok}$	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	Celkový zisk energie solárního systému na přípravu TV za rok (bez nadbytku)
$Zisk_{TV\_rok\_skut.}$	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	Skutečný celkový roční zisk energie solárního systému na přípravu TV za rok (bez nadbytku)
$a_1$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Lineární součinitel tepelné ztráty
$a_2$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}]$	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
$c$	$[1]$	Konstanta závisující na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria
$c_p$	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacity vody
$c_{p1}$	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacity teplotonosného média
$c_{p2}$	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacity teplotonosného média
$cp$	$[Kč \cdot m^{-3}]$	Měrná cena paliva
$d$	$[m]$	Vnitřní průměr akumulčního zásobníku
$d_1$	$[1]$	Počet dnů v měsíci potřebných na přípravu TV
$d_2$	$[1]$	Počet dnů vytápění v měsíci
$d_a$	$[m]$	Vnější průměr akumulčního zásobníku
$d_{k1}$	$[m]$	Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku
$d_{k2}$	$[m]$	Vnější průměr trubky kotlového výměníku
$d_{s1}$	$[m]$	Vnitřní průměr trubky solárního výměníku
$d_{s2}$	$[m]$	Vnější průměr trubky solárního výměníku
$d_{sp}$	$[m]$	Vnitřní průměr solárního potrubí
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
$h_1$	$[m]$	Výška válcové části klenutého dna
$h_2$	$[m]$	Výška vnitřního kulového vrchlíku klenutého dna
$h_s$	$[m]$	Výška hladiny nad expanzní nádobou

$h_{\text{vni}}$	[m]	Vnitřní výška akumulčního zásobníku
$h_{\text{vně}}$	[m]	Vnější výška akumulčního zásobníku
$i_{\text{LV}}$	[ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$ ]	Součinitel spárové průvzdušnosti oken
$k_c$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Průměrný součinitel prostupu tepla
$k_k$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Součinitel prostupu tepla
$k_s$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Součinitel prostupu tepla
$k_{\text{TV}}$	[%]	Pokrytí přípravy teplé vody solárním systémem
$k_{\text{TV+VYT}}$	[%]	Pokrytí přípravy teplé vody a vytápění solárním systémem
$k_{\text{TV\_využ}}$	[%]	Využití solární energie na přípravu teplé vody
$k_z$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Základní součinitel prostupu tepla
$l$	[m]	Tloušťka materiálu
$l_k$	[m]	Délka kotlového výměníku
$l_s$	[m]	Délka kotlového výměníku
$l_{\text{sp}}$	[m]	Délka solárního potrubí
$l_{\text{trub}}$	[m]	Délka trubky zásobníku
$m_1$	[ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Hmotnostní průtok teplotnosného média
$m_2$	[ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Hmotnostní průtok teplotnosného média
$m_{\text{pal}}$	[ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ]	Spotřeba zemního plynu za rok na přípravu TV a vytápění
$n$	[ $\text{h}^{-1}$ ]	Intenzita výměny vzduchu infiltrací
$n$	[1]	Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtllova kritéria
$n_h$	[ $\text{h}^{-1}$ ]	Potřebná intenzita výměny vzduchu
$os$	[1]	Počet osob
$p_0$	[kPa]	Plnicí tlak
$p_1$	[1]	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
$p_2$	[1]	Přirážka na urychlení zátopy
$p_3$	[1]	Přirážka na světovou stranu
$p_b$	[kPa]	Atmosférický tlak
$p_e$	[kPa]	Konečný tlak soustavy
$p_k$	[ks]	Počet kolektorů
$p_{\text{kol-1}}$	[Pa]	Tlaková ztráta jednoho kolektoru
$p_{\text{kv}}$	[kPa]	Požadovaný přetlak ve studeném kolektorovém poli

$p_{pa}$	[kPa]	Pracovní difference
$p_{pv}$	[kPa]	Otvírací tlak pojistného ventilu
$p_s$	[kPa]	Statický tlak solárního okruhu
$q_k$	[W·m <sup>-1</sup> ]	Tepelný tok 1 m trubky výměníku
$q_s$	[W·m <sup>-1</sup> ]	Tepelný tok 1 m trubky výměníku
$r_1$	[m]	Poloměr většího kulového klenutého dna
$r_2$	[m]	Poloměr menšího kulového klenutého dna
$s$	[m]	Tloušťka stěny akumulčního zásobníku
$t_a$	[°C]	Průměrná teplota venkovního vzduchu v době slunečního vltu
$t_1'$	[°C]	Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku
$t_1''$	[°C]	Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku
$t_2'$	[°C]	Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku
$t_2''$	[°C]	Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku
$t_e$	[°C]	Venkovní výpočtová teplota
$t_{ep}$	[°C]	Střední venkovní teplota v daném měsíci
$t_{e(j)}$	[°C]	Výpočtová venkovní teplota nebo výpočtová teplota sousední místnosti
$t_i$	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota
$t_{ie}$	[°C]	Teplota sousedních nevytápěných místnosti
$t_{ip}$	[°C]	Střední vnitřní teplota vytápěných místnosti v daném měsíci
$t_{iv}$	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota všech místností v daném měsíci
$t_{k\_1}$	[°C]	Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média
$t_{k\_2}$	[°C]	Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku
$t_s$	[°C]	Střední teplota kolektoru
$t_{s\_1}$	[°C]	Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média
$t_{s\_2}$	[°C]	Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku
$t_{stř,vk}$	[°C]	Střední teplota teplotnosného média v kotlovém výměníku
$t_{stř,vs}$	[°C]	Střední teplota teplotnosného média v solárním výměníku
$t_{stř,z}$	[°C]	Střední teplota vody v zásobníku

$t_{sv}$	[°C]	Teplota studené vody z vodovodu
$t_{TV}$	[°C]	Požadovaná teplota teplé vody
$t_{u,stř,k}$	[°C]	Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotonosného média
$t_{u,stř,s}$	[°C]	Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotonosného média
$t_{vs}$	[°C]	Vstupní teplota teplotonosného média do kolektoru
$t_{vys}$	[°C]	Výstupní teplota teplotonosného média z kolektoru
$w_{kv}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost proudění teplotonosného média v kotlovém výměníku
$w_{sp}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost proudění teplotonosného média v solárním potrubí
$w_{sv}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost proudění teplotonosného média v solárním výměníku
$z$	[ks]	Počet kusů
$z_1$	[1]	Přirážka na tepelné ztráty soustavy
$z_2$	[1]	Přirážka na tepelné ztráty soustavy
$\alpha_1$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_2$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_{1k}$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_{2k}$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_{1s}$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_{2s}$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\beta_{s1}$	[1]	Součinitel tepelné roztažnosti
$\beta_{s2}$	[1]	Součinitel tepelné roztažnosti
$\gamma_{stř,k}$	[K <sup>-1</sup> ]	Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotonosného média
$\gamma_{stř,s}$	[K <sup>-1</sup> ]	Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotonosného média
$\Delta p_c$	[Pa]	Celková tlaková ztráta solárního okruhu
$\Delta p_{kol}$	[Pa]	Tlaková ztráta všech kolektorů
$\Delta p_{sol\_v}$	[Pa]	Tlaková ztráta solárního výměníku
$\Delta p_{zt}$	[Pa]	Tlaková ztráta třením
$\Delta p_{\xi}$	[Pa]	Tlaková ztráta místními odpory

$\Delta t_{stř,k}$	[°C]	Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud
$\Delta t_{stř,s}$	[°C]	Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud
$\Delta \beta_s$	[1]	Součinitel tepelné roztažnosti teplotnosného média při změně objemu
$\varepsilon$	[1]	Korekční součinitel
$\varepsilon_l$	[1]	Opravný součinitel pro délku výměníku
$\varepsilon_R$	[1]	Opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech
$\varepsilon_t$	[1]	Opravný součinitel na neizotermické proudění
$\xi$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty
$\xi_k$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty kolen
$\xi_{ob}$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty oblouku
$\xi_{sol\_v}$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty solárního výměníku
$\xi_{uv}$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty uzavíracího ventilu
$\xi_{zk}$	[1]	Součinitel místní tlakové ztráty zpětné klapky
$\eta_0$	[1]	Účinnost při nulových tepelných ztrátách
$\eta_k$	[1]	Teoretická účinnost solárního kolektoru
$\eta_{kotle}$	[1]	Účinnost kotle
$\eta_{real}$	[1]	Reálná účinnost solárního kolektoru
$\lambda$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti
$\lambda_{Cu}$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti mědi
$\lambda_i$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti
$\lambda_{stř,k}$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média
$\lambda_{stř,s}$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média
$\lambda_{zt,sp}$	[1]	Součinitel tření solárního potrubí
$\nu_{stř,k}$	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Kinematická viskozita teplotnosného média
$\nu_{stř,s}$	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Kinematická viskozita teplotnosného média
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota vody
$\rho_{stř,vk}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota teplotnosného média v kotlovém výměníku
$\rho_{stř,vs}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota teplotnosného média v solárním výměníku
$\rho_{v,stř,z}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota vody v zásobníku

$\tau$	[h]	Čas působení využitého výkonu
$\tau_1$	[h]	Potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu
$\tau_2$	[h]	Potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu
$\tau_{CZ\_TV}$	[hod]	Doba provozu čerpadla solárního okruhu v měsíci bez využití nadbytků

### Zkratky

apod. – a podobně

cca - přibližně

m – metr

mm – milimetr

m n.m. – metrů nad mořem

obr. – obrázek

Pozn. - poznámka

Sb. – sbírky

str. – strana

viz. – více informací

SV – studená voda

TUV – teplá užitková voda

TV – teplá voda

WMO – Světová meteorologická organizace

CERMET - je slinutý karbid tvořený tvrdými částicemi na bázi titanu. Název cermet je kombinací slov keramika (ceramic) a kov (metal).

## 1. Úvod

Poptávka po energii v průběhu let neustále narůstá a ceny energií se tím navyšují. Výrobu energie pokrývají z velké části fosilní energetické suroviny jako uhlí, ropa, zemní plyn. V budoucnu nastane situace, kdy zmenšující zásoby fosilních paliv nebudou schopny pokrýt potřebu energie. Rostoucí spotřeba energie, vyčerpatelnost fosilních paliv, negativní dopad na životní prostředí při jejich těžbě a růst cen za energii vede ke stále většímu využívání alternativních a obnovitelných zdrojů energie. Mezi tyto obnovitelné zdroje energie se řadí hlavně energie sluneční, větrná, vodní a geotermální. Hlavní důvod k využívání obnovitelných zdrojů je jejich ekonomický a ekologický charakter. Nevýhodou těchto zdrojů jsou jejich vysoké pořizovací náklady.

V diplomové práci se zabývám využitím sluneční energie. Tu lze lehce transformovat na teplo, které se použije k ohřevu teplé užitkové vody. Využitím sluneční energie k tomuto účelu se přispěje ke snížení potřeby jiných zdrojů fosilních paliv. Při rozhodování na pořízení takového solárního systému se musí i zvážit, zda se takový systém vzhledem k pořizovacím nákladům vyplatí s ohledem na jeho životnost

.Hlavním úkolem této diplomové práce je navrhnout solární systém přípravy a přitápění pro celoročně obydlený rodinný dům s konstrukčním návrhem akumulčního zásobníku. Ten bude sloužit k akumulaci ohřáté vody k následnému využití v domácnosti. Dále se v této práci budu zabývat stanovením tepelně izolačních vlastností domu a potřebou tepla k přípravě teplé vody a vytápění. Zhodnotím také environmentální přínos snížení produkce emisí. V závěru vyhodnotím ekonomický přínos solárního systému a prostou dobu návratnosti vložených investic.



## 2. Sluneční energie [1], [2]

Slunce je středem planetární soustavy, jejíž součástí je Země. Slunce má tvar koule a všechny prvky v její hmotě obsažené jsou ve formě plasmy. Povrchová teplota slunce je přibližně 5 700 K [1]. Sluneční záření, vyzařované do kosmického prostoru zahrnuje vlnové délky od  $10^{-10}$  m (rentgenové a ultrafialové záření) až do  $10^3$  m (rádiové záření) [2]. Z celkového výkonu, vyzařovaného Sluncem, dopadnou na Zem asi dvě miliardy (cca  $7,7 \times 10^{17}$  kW) [1]. Na hranici atmosféry Země dorazí sluneční záření, jež není ničím pohlcováno, v původní podobě, jako opustilo Slunce, jen s velmi zmenšenou hustotou zářivého toku.

V roce 1981 Světová meteorologická organizace (WMO) přijala sluneční konstantu, jejíž hodnota je  $G_{SC} = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 1\%$  [1]. Sluneční konstanta označuje střední hodnotu ročního zářivého toku sluneční energie, dopadající na jednotku plochy kolmou ke směru šíření záření na vnější povrch zemské atmosféry, při průměrné vzdálenosti Slunce od Země.

## 3. Stanovení tepelných ztrát rodinného domu

Rodinný dům se nachází v obci Krmelín, okres Frýdek – Místek, v nadmořské výšce 247 m n. m. Jedná se o jednoposchodový podsklepený objekt. Dům byl postaven v roce 1928 a na přelomu 70 a 80 let minulého století prošel malou přestavbou. V současné době, kdy je kladen určitý požadavek na energetický standart budov, potřebuje objekt revitalizovat. Rozkládá se na obdélníkovém půdorysu o rozměrech 13x12 m a přistavena nevytápěna garáž se rozkládá na ploše 6x6 m. Obvodový plášť domu je tvořen 450 mm silnou vrstvou cihel, pokrytý vnější a vnitřní omítkou.

Vytápění objektu je realizováno ústředním topením. Zdroj tepelné energie pro ústřední topení je litinový článkový plynový kotel VIADRUS G 27 ECO o výkonu 22,5 kW.

Na doporučení vedoucího diplomové práce bude pro výpočet tepelné ztráty rodinného domu použita norma ČSN 06 0210, která již není platná (byla zrušena bez náhrady). Při výpočtu tepelných ztrát nejsou zohledněny trvalé tepelné zisky.

### 3.1. Stanovení výpočtových teplot dle ČSN 06 0210 [9]

Pro danou lokalitu, kde se nalézá řešený objekt, je dle [9] venkovní výpočtová teplota  $t_e = -15\text{ °C}$ . Ze stejné normy se stanoví teploty ve vnitřních místnostech (tab 3.1.).

Tab. 3.1. Výpočtové teploty pro stanovení tepelných ztrát

Výpočtová vnitřní teplota $t_i$ (°C) vytápěných místností		
Druh místnosti	Vnitřní výpočtová teplota	Značení místnosti
Obývací pokoj	20 °C	M 101
Ložnice	20 °C	M 102
Pokoj č. 1	20 °C	M 103
Pokoj č. 2	20 °C	M 104
Koupelna	24 °C	M 105
WC	20 °C	M 106
Předsíň	15 °C	M 107
Vstupní hala	15 °C	M 108
Kuchyně	20 °C	M 109
Pokoj č. 3	20 °C	M 201
Hala	15 °C	M 202
Teplota nevytápěných místností $t_{ie}$ (°C) při výpočtové venkovní teplotě $t_e$ (°C)		
Druh místnosti	Vnitřní výpočtová teplota	Označení místnosti
Půda č. 1	-6 °C	M 203
Půda č. 2	-6 °C	M 204
Sklep	0 °C	
Zemina pod podlahou	5 °C	

Pro názornost uvedu dále výpočet tepelných ztrát obývacího pokoje (M 101). Tepelné ztráty ostatních místností vypočtu podobným způsobem. Potřebné údaje stanovím dle ČSN 06 0210 a ČSN 73 0540-3.

### 3.2. Základní tepelná ztráta prostupem tepla

Nejprve stanovím součinitele přestupu tepla z odporu při přestupu tepla dle ČSN 73 0540-3 (z roku 2005) na str. 83, popřípadě z její předcházející zrušené verze (z roku 2004) na str. 29. A to pro každou místnost budovy.

Součinitel přestupu tepla (pro názornost uvádím jen pro vnitřní povrch stěny M 101):

$$\alpha_1 = \frac{1}{R_1} \quad (3.1.)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{0,13}$$

$$\alpha_1 = 8 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $\alpha_1$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$R$  Odpor při přestupu tepla [ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ ].

Odpor při přestupu tepla stanovím z ČSN 73 0540-3 (z roku 2005) na str. 83.

Součinitel prostupu tepla (pro vnější obvodovou stěnu I. místnosti M 101):

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.2.)$$

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,44}{0,52} + \frac{0,02}{0,99} + \frac{1}{25}}$$

$$k_z = 0,95 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $k_z$  Základní součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$\alpha_1$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$l$  Tloušťka materiálu [m],

$\lambda_i$  Součinitel tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ].

Součinitel tepelné vodivosti stanovím z ČSN 73 0540-3 (z roku 2005) na str. 31-51.

Tab. 3.2. Výpočtové parametry místnosti M 101

Skladba vrstev	$l$	$\lambda$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	S	$k_z$
	[m]	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Vnější obvodová stěna I.						
Omítka vnitřní	0,02	0,88	8	25	15,264	0,24
Škvárbetonová tvárnice	0,44	0,52				
Omítka vnější	0,02	0,99				
Vnější obvodová stěna II.						
Omítka vnitřní	0,02	0,88	8	25	10,525	0,24
Škvárbetonová tvárnice	0,44	0,52				
Omítka vnější	0,02	0,99				

Podlaha						
Koberec	0,004	0,065	6	25	19,08	0,04
Parkety	0,02	0,18				
Cementový potěr	0,015	1,6				
Podkladový beton	0,4	1,3				
Strop (pod nevytápěnou půdou č. 1)						
Omítka vnitřní	0,02	0,88	10	25	19,08	2,08
Podkladový beton	0,4	1,3				
Cementový potěr	0,015	1,6				
Okno						
Zdvojené okna s dvěma čirými skly, netěsná	-	-	-	-	2,275	2,4

kde:  $l$  Tloušťka materiálu [m],  
 $\lambda$  Součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $\alpha_1$  Součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $\alpha_2$  Součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $S$  Plocha [ $\text{m}^2$ ],  
 $k_z$  Součinitel prostupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $\lambda_i$  Součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

Pozn.: (Dle ČSN 06 0210 na str. 4) Plocha ( $S$ ) stropů, podlah a svislých stěn se vypočítají z vnitřních (světлых) rozměrů místnosti, pouze u výšky se počítá s konstrukční výškou podlaží. Plocha okenních a dveřních otvorů se stanoví podle jejich skladebních rozměrů včetně rámu a zárubní. Součinitel prostupu tepla pro okno stanovím z ČSN 73 0540-3 (z roku 2005) na str. 52.

Základní tepelná ztráta prostupem tepla místnosti M 101:

$$Q_o = \sum k_z \cdot S \cdot (t_i - t_{e(j)}) \quad (3.3.)$$

$$Q_o = k_{z1} \cdot S_1 \cdot (t_i - t_e) + k_{z2} \cdot S_2 \cdot (t_i - t_e) + k_{z3} \cdot S_3 \cdot (t_i - t_{ie}) + k_{z4} \cdot S_4 \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_o = 0,95 \cdot 15,264 \cdot (20 - (-15)) + 0,95 \cdot 10,525 \cdot (20 - (-15)) + 1,44 \cdot 19,08 \cdot (20 - 0) + 2,08 \cdot 19,08 \cdot (20 - (-6)) + 2,4 \cdot 2,275 \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_o = 2\,629,32 \text{ [W]}$$

kde:  $Q_o$  Základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],  
 $t_i$  Výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti [°C],  
 $t_e$  Výpočtová venkovní teplota [°C],  
 $t_{ie}$  Teplota nevytápěné místnosti [°C],  
 $t_{e(j)}$  Výpočtová venkovní teplota nebo výpočtová teplota sousední místnosti [°C].

### 3.3. Tepelná ztráta prostupem tepla

Nejprve je nutno stanovit průměrný součinitel prostupu tepla:

$$k_c = \frac{Q_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \quad (3.4.)$$

$$k_c = \frac{2\,629,32}{(15,264 + 10,525 + 19,08 + 19,08 + 2,275) \cdot (24 - (-15))}$$

$$k_c = 1,134 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $k_c$  Průměrný součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $Q_o$  Základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],  
 $S$  Plocha [ $m^2$ ],  
 $t_i$  Výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti [°C],  
 $t_e$  Výpočtová venkovní teplota [°C].

$\sum S$  je (dle ČSN 06 0210) celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost v  $m^2$ .

Dále je třeba dle [9] (na str. 6) stanovit přírážky  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ .

Přírážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad (3.5.)$$

$$p_1 = 0,15 \cdot 1,134$$

$$p_1 = 0,1702$$

kde:  $p_1$  Přírážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí [1],  
 $k_c$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ].

Přírážka na urychlení zátoku:

$$p_2 = 0 \quad (3.6.)$$

kde:  $p_2$  Přirážka na urychlení zátoku [1],

S přirážkou na urychlení zátoku nepočítám. Z důvodu nepřerušovaného provozu vytápění.

Přirážka na světovou stranu:

$$p_3 = 0 \quad (3.7.)$$

kde:  $p_3$  Přirážka na světovou stranu [1],

O přirážce na světovou stranu rozhoduje nejvíce poloha ochlazované stavební konstrukce místnosti. Pro místnost M 101, která je orientována na jihovýchod je stanovena přirážka 0.

Tepelná ztráta prostupem tepla:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (3.8.)$$

$$Q_p = 2\,629,32 \cdot (1 + 0,1702 + 0 + 0)$$

$$Q_p = 3\,076,72 \text{ [W]}$$

kde:  $Q_p$  Tepelná ztráta prostupem tepla [W],

$Q_o$  Základní tepelná ztráta prostupem tepla [W],

$p_1$  Přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí [1],

$p_2$  Přirážka na urychlení zátoku [1],

$p_3$  Přirážka na světovou stranu [1].

### 3.4. Tepelná ztráta větráním

V následující tabulce (Tab. 3.3), jsou stanovené potřebné hodnoty dle [9] a [10], pro výpočet tepelné ztráty větráním.

Tab. 3.3. Hodnoty nutné k výpočtu tepelných ztrát větráním pro místnost M 101

Potřebná intenzita výměny vzduchu	$n_h$	0,5	$[\text{h}^{-1}]$ dle [27]
Vnitřní objem místnosti	$V_m$	53,42	$[\text{m}^3]$
Součinitel spárové průvzdušnosti oken	$i_{LV}$	0,00014	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$
Délka spar otvíratelných částí oken	$L$	8,7	$[\text{m}]$
Součet průvzdušnosti oken	$\sum(i_{LV} \cdot L)$	0,001218	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$
Charakteristické číslo budovy	$B$	8	$[\text{Pa}^{0,67}]$
Charakteristické číslo místnosti	$M$	0,7	[1]

Objemový tok větracího vzduchu při přirozeném větrání infiltrací:

$$V_{vP} = \sum(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad (3.9.)$$

$$V_{vP} = 0,00014 \cdot 8,7 \cdot 8 \cdot 0,7$$

$$V_{vP} = 0,0068 [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde:  $V_{vP}$  Objemový tok větracího vzduchu při přirozeném větrání infiltrací  $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ ,  
 $i_{LV}$  Součinitel spárové průvzdušnosti oken  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$ ,  
 $L$  Délka spar otvíratelných částí oken [m],  
 $B$  Charakteristické číslo budovy  $[\text{Pa}^{0,67}]$ ,  
 $M$  Charakteristické číslo místnosti [1].

Intenzita výměny vzduchu infiltrací:

$$n = \frac{3\,600 \cdot \sum(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M}{V_m} \quad (3.10.)$$

$$n = \frac{3\,600 \cdot 0,001218 \cdot 8 \cdot 0,7}{53,42}$$

$$n = 0,46 [\text{h}^{-1}]$$

kde:  $n$  Intenzita výměny vzduchu infiltrací  $[\text{h}^{-1}]$ ,  
 $i_{LV}$  Součinitel spárové průvzdušnosti oken  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$ ,  
 $L$  Délka spar otvíratelných částí oken [m],  
 $B$  Charakteristické číslo budovy  $[\text{Pa}^{0,67}]$ ,  
 $M$  Charakteristické číslo místnosti [1],  
 $V_m$  Vnitřní objem místnosti  $[\text{m}^3]$ .

Potřebný průtok větracího vzduchu:

$$V_{vH} = \frac{n_h}{3\,600} \cdot V_m \quad (3.11.)$$

$$V_{vH} = \frac{0,5}{3\,600} \cdot 53,42$$

$$V_{vH} = 0,0074 [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde:  $V_{vH}$  Potřebný průtok větracího vzduchu  $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ ,  
 $n_h$  Potřebná intenzita výměny vzduchu  $[\text{h}^{-1}]$ ,  
 $V_m$  Vnitřní objem místnosti  $[\text{m}^3]$ .

Tepelná ztráta místnosti M 101 větráním:

$$Q_v = 1\,300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad (3.12.)$$

$$Q_v = 1\,300 \cdot 0,0074 \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_v = 337,58 \text{ [W]}$$

kde:  $Q_v$  Tepelná ztráta větráním [W],  
 $V_v$  objemový průtok větracího vzduchu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $t_i$  Výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_e$  Výpočtová venkovní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Za  $V_v$  se dle [9] dosadí větší z hodnot  $V_{vH}$  a  $V_{vP}$ .

### 3.5. Celková tepelná ztráta místnosti

Dle [9] se doporučuje konečné hodnoty celkové tepelné ztráty místnosti zaokrouhlit na:

- 10 W směrem k větší hodnotě při  $Q_c \leq 500 \text{ W}$ ,
- 20 W směrem k větší nebo menší hodnotě při  $500 \text{ W} \leq Q_c \leq 1\,000 \text{ W}$ ,
- 50 W směrem k větší nebo menší hodnotě při  $Q_c > 1\,000 \text{ W}$ .

Celková tepelná ztráta místnosti M 101:

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad (3.13.)$$

$$Q_c = 3\,076,72 + 337,58 - 0$$

$$Q_c = 3\,414,3 \text{ [W]} \Rightarrow 3\,400 \text{ [W]}$$

kde:  $Q_c$  Celková tepelná ztráta [W],  
 $Q_p$  Tepelná ztráta prostupem tepla [W],  
 $Q_v$  Tepelná ztráta větráním [W],  
 $Q_z$  Trvalý tepelný zisk [W].

Na trvale tepelné zisky nebyl brán zřetel.

### 3.6. Celková tepelná ztráta rodinného domu

Celková tepelná ztráta rodinného domu je součtem celkových tepelných ztrát jednotlivých místností, viz v tabulce 3.4.

Celková tepelná ztráta rodinného domu, neboli jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu zaokrouhlena dle ČSN 06 0210 podle jednotlivých místností, je:  $Q_{c\_zaokrou.} = 22\,660 \text{ [W]}$ .



Tab. 3.4. Rozložení tepelných ztrát

		tepelná ztráta	Podíl ztrát
		[W]	[%]
Tepelné ztráty domu prostupem tepla	$Q_p$	19 277,04	84,93
Tepelné ztráty domu větráním	$Q_v$	3 421,20	15,07
Celkové tepelné ztráty domu	$Q_c$	22 698,24	100,00

#### 4. Návrh solárního systému

Objekt, na který bude implementován navrhovaný solární systém, je situován, jak bylo již zmíněno v kapitole 3, v obci Krmelín. Tato obec se nachází nedaleko Ostravy jižním směrem, na souřadnicích  $+49^{\circ} 44' 15.40''$  SŠ,  $+18^{\circ} 14' 22.68''$  VD. Sluneční kolektory budou instalované na šikmé střeše, pod úhlem  $50^{\circ}$ . Orientace střechy k jihu je  $0^{\circ}$ .

Hlavní částí solárního systému je akumulční zásobník, který navrhnu jako bivalentní. Což znamená, že ohřev vody bude zajišťován solárním okruhem a při nedostatku solárního svitu bude dohřev zajišťovat tepelný okruh plynového kotle. Návrh akumulčního zásobníku s výměníky je proveden v kapitole 5. Voda přivedena z vodovodu do zásobníku bude ohřívána s cca  $10^{\circ}\text{C}$  na požadovanou teplotu  $55^{\circ}\text{C}$ .

Jako teplotnosné médium solárního okruhu navrhuji směs vody a monopropylenglykolu v poměru 1:1. U kotlového okruhu bude funkci teplotnosného média plnit voda.

Vstupní data, která použiji pro výpočet bilance solárního systému, zajistí získaná data z databáze Meteonorm. Tyto data jsou vůči obci Krmelín z nejbližší měřené lokace Ostrava – Poruba. Další vstupní data, která použiji jsou průměrné teploty studené vody z vodovodu za jednotlivé dny.

##### 4.1. Volba slunečního kolektoru

Do navrhovaného solárního systému se uvažuje s plochým slunečním kolektorem KPH1 ALP firmy Regulus. Kolektor využívá hliníkový absorber s vysoce selektivní povrchem BlueTec PlusEta plus. Což je sloučenina keramiky a kovu (CERMET) [22] od firmy Blue Tec. Zasklení kolektoru je řešeno kaleným nízkoželezitým prizmatickým sklem o tloušťce 4 mm.



Obr. 4.1. Kolektor typu KPH1 ALP [20]

Základní technické parametry kolektoru:

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| – Typ                                 | plochý kolektor,                            |
| – Rozměry                             | 2098x1099x99 mm,                            |
| – Celková plocha                      | 2,306 m <sup>2</sup> ,                      |
| – Plocha apertury                     | 1,991 m <sup>2</sup> ,                      |
| – Plocha absorbéru                    | 1,991 m <sup>2</sup> ,                      |
| – Teplonosná kapalina (složení/objem) | vodní roztok monopropylenglykolu 1:1/1,5 l, |
| – Doporučený průtok                   | 60 – 120 l·h <sup>-1</sup>                  |

#### 4.2. Potřeba tepla na přípravu TV

Následující výpočet potřeby tepla na přípravu TV provedu pro měsíc leden. V (tab. 4.1.) jsou stanovené hodnoty pro ostatní měsíce.

Stanovené hodnoty pro potřebu tepla na přípravu TV:

- Množství teplé užitkové vody (TUV) na osobu za den:  $V_{TV,os}=50 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ ,
- Počet žijících osob v rodinném domě:  $os=5$ ,
- Požadovaná teplota teplé vody (TV):  $t_{TV}=55^{\circ}\text{C}$ ,
- Teplota studené vody (SV) přiváděná do zásobníku:  $t_{SV}=8,25^{\circ}\text{C}$ ,
- Hustota vody:  $\rho=995,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,
- Měrná tepelná kapacita vody:  $c_p=4,174 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,
- Tepelné ztráty pro přípravu TV:  $z_1=30\%$  (0,3),
- Počet dnů v měsíci leden potřebných na přípravu TV:  $d_1=31$ .

Tepelné ztráty systému jsou určeny dle [1] na str. 91, jako centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací, kde jsou vyčísleny na 30%.

Množství denní spotřeby TUV pro 5 osob potřebné k ohřevu:

$$V_{TV,d} = V_{TV,os} \cdot os \quad (4.1.)$$

$$V_{TV,d} = 50 \cdot 5$$

$$V_{TV,d} = 250 [l \cdot den^{-1}] = 0,25 [m^3 \cdot den^{-1}]$$

kde:  $V_{TV,d}$  Celková potřeba teplé vody na den [ $l \cdot den^{-1}$ ],  
 $V_{TV,os}$  Spotřeba teplé vody za den na osobu [ $l \cdot den^{-1}$ ],  
 $os$  Počet osob [1].

Potřebné množství tepla na ohřev 250 l vody v daném měsíci včetně ztrát:

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,d} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot d_1 \cdot (1 + z_1)}{3600} \quad (4.2.)$$

$$Q_{TV} = \frac{0,25 \cdot 995,7 \cdot 4,174 \cdot (55 - 8,25) \cdot 31 \cdot (1 + 0,3)}{3600}$$

$$Q_{TV} = 543,76 [KWh \cdot měsíc^{-1}]$$

kde:  $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $V_{TV,d}$  Celková potřeba teplé vody za den [ $m^3 \cdot den^{-1}$ ],  
 $\rho$  Hustota vody [ $kg \cdot m^{-3}$ ],  
 $c_p$  Měrná tepelná kapacita vody [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{TV}$  Požadovaná teplota teplé vody [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{SV}$  Teplota studené vody z vodovodu [ $^{\circ}C$ ],  
 $d_1$  Počet dnů v měsíci potřebných na přípravu TV [1],  
 $z_1$  Přirážka na tepelné ztráty soustavy [1].

Tab. 4.1. Potřeba tepla na přípravu TV za jednotlivé měsíce:

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Počet dní	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{TV}$	543,8	497,1	545,4	512,8	507,7	469,2	467,6	460,5	450,6	481,5	487,5	526,5

Roční potřeba tepla na přípravu TV:

$$Q_{TV,rok} = Q_{TV leden} + Q_{TV únor} + \dots + Q_{TV prosinec} \quad (4.3.)$$

$$Q_{TV\_rok} = 5\,950,16 [KWh \cdot rok^{-1}]$$

kde:  $Q_{TV\_rok}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV za rok [ $kWh \cdot rok^{-1}$ ]  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

#### 4.3. Potřeba tepla na vytápění

Následující výpočet potřeby tepla na vytápění provedu pro měsíc leden. V (tab. 4.2) jsou stanovené hodnoty pro ostatní měsíce.

Pro zjištění potřeby tepla na vytápění je dle [1] na str. 92, výhodné použít denostupňovou metodu. Která stanoví přibližnou potřebu tepla na vytápění v určitém období.

Stanovené hodnoty pro potřebu tepla na vytápění:

- Jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu:  $Q_{c\_zaokrou.} = 22\,660\text{ W}$ ,
- Výpočtová vnitřní teplota všech místností v daném měsíci:  $t_{iv} = 14,07\text{ °C}$ ,
- Střední vnitřní teplota vytápěných místností v daném měsíci:  $t_{ip} = 19\text{ °C}$ ,
- Výpočtová venkovní teplota:  $t_e = -15\text{ °C}$ ,
- Střední venkovní teplota v daném měsíci:  $t_{ep} = -1,87\text{ °C}$ ,
- Korekční součinitel:  $\varepsilon = 0,75$  dle [1] na str. 92,
- Tepelné ztráty na vytápění:  $z_2 = 5\%$  (0,05),
- Počet dnů vytápění v měsíci leden:  $d_2 = 31$ .

Tepelné ztráty systému jsou určeny dle [1] na str. 93, kde jsou vyčísleny na 5%.

Potřebné množství tepla na vytápění v daném měsíci včetně ztrát:

$$Q_{VYT} = \frac{24 \cdot \varepsilon \cdot Q_{c\_zaokrou.} \cdot (t_{ip} - t_{ep}) \cdot d_2 \cdot (1 + z_2)}{(t_{iv} - t_e)} \quad (4.4.)$$

$$Q_{VYT} = \frac{24 \cdot 0,75 \cdot 22,660 \cdot (19 - (-1,87))}{14,07 - (-15)} \cdot 31 \cdot (1 + 0,05)$$

$$Q_{VYT} = 9\,532 [KWh \cdot měsíc^{-1}]$$

kde:  $Q_{VYT}$  Potřebné množství tepla na vytápění [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $\varepsilon$  Korekční součinitel [1],  
 $Q_{c\_zaokrou.}$  Jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu [W],

$t_{ip}$	Střední vnitřní teplota vytápěných místností v daném měsíci [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$t_{ep}$	Střední venkovní teplota v daném měsíci [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$t_{iv}$	Výpočtová vnitřní teplota všech místností v daném měsíci [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$t_e$	Výpočtová venkovní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$d_2$	Počet dnů vytápění v měsíci [1],
$z_2$	Tepelné ztráty na vytápění [1].

Tab. 4.2. Potřeba tepla na vytápění za jednotlivé měsíce:

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Počet dní	31	28	31	20	-	-	-	-	30	31	30	31
$Q_{VYT}$	9 532	7 855	7 177	3 064	-	-	-	-	1 671	4 408	6 551	9 168

Roční potřeba tepla na vytápění:

$$Q_{VYT} = Q_{VYT\_leden} + Q_{VYT\_únor} + \dots + Q_{VYT\_prosinec} \quad (4.5.)$$

$$Q_{VYT\_rok} = 49\,426 \text{ [KWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$$

kde:  $Q_{VYT\_rok}$  Potřebné množství tepla na vytápění za rok [ $\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

$Q_{VYT}$  Potřebné množství tepla na vytápění [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ].

#### 4.4. Využitelné energetické zisky ze solárních kolektorů

Následující výpočty provedu pro měsíc leden a to přesně k **1.1.2001, 10:00 hod.**

Stanovené hodnoty pro využití solárního kolektoru KPH1 ALP firmy Regulus:

- Účinnost při nulových tepelných ztrátách  $\eta_0 = 0,811$
- Lineární součinitel tepelné ztráty  $a_1 = 3,968 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ ,
- Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru  $a_2 = 0,009 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}]$ ,
- Průměrná teplota venkovního vzduchu v době svitu  $t_a = 5,6 \text{ [}^{\circ}\text{C}]$  (1.1.2001, 10:00 hod.),
- Celková intenzita záření na plochu  $I_c = 211 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}]$  (1.1.2001, 10:00 hod.).

Střední teplota kolektoru:

Duben – Říjen: kdy bude kolektor ohřívat teplotonosné médium na teplotu  $60 \text{ [}^{\circ}\text{C}]$ .

$$t_s = \frac{t_{vys} + t_{vs}}{2} \quad (4.6.)$$

$$t_s = \frac{60 + 11,35}{2}$$

$$t_s = 35,67 \text{ [}^{\circ}\text{C}]$$

Listopad – Březen: kdy bude kolektor ohřívat teplotnosné médium na teplotu 40 [°C].

$$t_s = \frac{t_{vys} + t_{vs}}{2} \quad (4.7.)$$

$$t_s = \frac{40 + 8,25}{2}$$

$$t_s = 24,12 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

kde:  $t_s$  Střední teplota kolektoru [°C],  
 $t_{vys}$  Výstupní teplota teplotnosného média z kolektoru [°C],  
 $t_{vs}$  Vstupní teplota teplotnosného média do kolektoru [°C].

Vstupní teplota teplotnosného média se rovná průměrné měsíční teplotě studené vody z kohoutku. Pro Duben – Říjen jsem počítal z průměrné teploty za květen a pro Listopad – Březen jsem počítal z průměrné teploty za leden.

Střední teplota kolektoru bude vždy jiná v teplejším než v chladnějším období. Z tohoto důvodu volím zvlášť výstupní teploty teplotnosného média pro letní a zimní měsíce.

Redukovaná teplota (pro měsíc leden):

$$A = \frac{t_s - t_a}{I_c} \quad (4.8.)$$

$$A = \frac{24,12 - 5,6}{211}$$

$$A = 0,088 \text{ [K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}\text{]}$$

kde:  $A$  Redukovaná teplota (Součinitel charakterizující provozní podmínky kolektoru) [K·m<sup>2</sup>·W<sup>-1</sup>],  
 $t_s$  Střední teplota kolektoru [°C],  
 $t_a$  Průměrná teplota venkovního vzduchu v době svitu [°C],  
 $I_c$  Celková intenzita záření na plochu [W·m<sup>-2</sup>].

Teoretická účinnost solárního kolektoru:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^2 \cdot I_c \quad (4.9.)$$

$$\eta_k = 0,811 - 3,968 \cdot 0,088 - 0,009 \cdot 0,088^2 \cdot 211$$

$$\eta_k = 0,45 = 45 \text{ [%]}$$

kde:  $\eta_k$  Teoretická účinnost solárního kolektoru [1],

- $\eta_0$  Účinnost při nulových ztrátách [1],  
 $A$  Redukovaná teplota (Součinitel charakterizující provozní podmínky kolektoru) [ $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ],  
 $a_1$  Lineární součinitel tepelné ztráty [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $a_2$  Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$ ],  
 $I_c$  Celková intenzita záření na plochu [ $W \cdot m^{-2}$ ].

Reálná účinnost solárního kolektoru:

$$\eta_{real} = \eta_k \quad \text{jestli-že} \quad \eta_k > 0,15 \quad (4.10.)$$

$$\eta_{real} = 0,45 = 45 [\%]$$

- kde:  $\eta_{real}$  Reálná účinnost solárního kolektoru [1],  
 $\eta_k$  Teoretická účinnost solárního kolektoru [1].

Jestli-že teoretická účinnost bude menší než 15 %, tak je tím myšleno, že kolektor nedodává teplo a jeho reálná účinnost je 0 %.

Využitý výkon solárních kolektorů:

$$P_k = I_c \cdot \eta_{real} \quad (4.11.)$$

$$P_k = 211 \cdot 0,45$$

$$P_k = 94,53 [W \cdot m^{-2}]$$

- kde:  $P_k$  Využitý výkon solárních kolektorů [ $W \cdot m^{-2}$ ],  
 $I_c$  Celková intenzita záření na plochu [ $W \cdot m^{-2}$ ],  
 $\eta_{real}$  Reálná účinnost solárního kolektoru [1].

Využitelné energetické zisky solárních kolektorů:

$$Q_k = \left( \frac{P_k + P_{k-1}}{2} \right) \cdot \tau \quad (4.12.)$$

$$Q_k = \left( \frac{94,53 + 20,80}{2} \right) \cdot 1$$

$$Q_k = 57,66 [Wh \cdot m^{-2}]$$

- kde:  $Q_k$  Využitelné energetické zisky solárních kolektorů [ $Wh \cdot m^{-2}$ ],  
 $P_k$  Využitý výkon solárních kolektorů [ $W \cdot m^{-2}$ ],

$P_{k-1}$  Využitý výkon solárních kolektorů za předcházející hodinu [ $W \cdot m^{-2}$ ],  
 $\tau$  Čas působení využitého výkonu [h].

Měsíční využitelné energetické zisky solárních kolektorů (za celý leden):

$$Q_{k\_měsíc} = \sum Q_k \quad (4.13.)$$

$$Q_{k\_měsíc} = Q_{k\_1.1.2001\_1:00} + Q_{k\_1.1.2001\_2:00} + \dots + Q_{k\_31.1.2001\_0:00}$$

$$Q_{k\_měsíc} = 28\,066,37 [Wh \cdot m^{-2}]$$

kde:  $Q_{k\_měsíc}$  Měsíční využitelné energetické zisky solárních kolektorů [ $Wh \cdot m^{-2}$ ],  
 $Q_k$  Využitelné energetické zisky solárních kolektorů [ $Wh \cdot m^{-2}$ ].

Doba provozu čerpadla v měsíci:

$$CZ_{měs} = \sum CZ \quad (4.14.)$$

$$CZ_{měs} = CZ_{1.1.2001\_1:00} + CZ_{1.1.2001\_2:00} + \dots + CZ_{31.1.2001\_0:00}$$

$$CZ_{měs} = 107 [hod]$$

kde:  $CZ_{měs}$  Měsíční doba provozu čerpadla [hod].

#### 4.5. Stanovení počtu kolektoru

Následující výpočty provedu pro měsíc **duben** kdy je předpoklad, že solární soustava dokáže v tomto přechodném období pokrýt potřebu TV a vytápění objektu.

Plocha absorberu solárních kolektorů na přípravu TV:

$$S_{A\_TV} = \frac{Q_{TV}}{Q_k} \quad (4.15.)$$

$$S_{A\_TV} = \frac{512,18}{66,934}$$

$$S_{A\_TV} = 7,66 [m^2]$$

kde:  $S_{A\_TV}$  Plocha absorberu solárních kolektorů [ $m^2$ ],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $Q_k$  Využitelné energetické zisky solárních kolektorů [ $kWh \cdot m^{-2} \cdot měsíc^{-1}$ ].



Plocha absorberu solárních kolektorů na přípravu TV a vytápění:

$$S_{A\_TV+VYT} = \frac{Q_{TV} + Q_{VYT}}{Q_k} \quad (4.16.)$$

$$S_{A\_TV+VYT} = \frac{512,18 + 3\,064}{66,934}$$

$$S_{A\_TV+VYT} = 53,44 \text{ [m}^2\text{]}$$

kde:  $S_{A\_TV+VYT}$  Plocha absorberu solárních kolektorů [m<sup>2</sup>],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [kWh·měsíc<sup>-1</sup>],  
 $Q_{VYT}$  Potřebné množství tepla na vytápění [kWh·měsíc<sup>-1</sup>],  
 $Q_k$  Využitelné energetické zisky solárních kolektorů [kWh·m<sup>-2</sup>·měsíc<sup>-1</sup>].

Jelikož využitelný prostor střechy je omezen a zvyšujícím počtem kolektoru by neúměrně narůstala cena solárního systému. Proto volím **7 kolektoru KPH1-ALP od firmy Regulus**, kde plocha jednoho kolektorového absorberu je 1,991 m<sup>2</sup>. Skutečná plocha absorberu, instalovaných 7 slunečních kolektoru je  **$S_A = 13,937 \text{ m}^2$** .

#### 4.6. Tepelná bilance solárního systému

Následující výpočty provedu pro měsíc **duben**.

Maximální tepelný zisk ze solárního systému vztahený na celkovou instalovanou plochu absorberu:

$$Q_{max} = S_A \cdot Q_k \quad (4.17.)$$

$$Q_{max} = 13,937 \cdot 66,934$$

$$Q_{max} = 932,865 \text{ [kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}\text{]}$$

kde:  $Q_{max}$  Maximální tepelný zisk ze solárního systému [kWh·měsíc<sup>-1</sup>],  
 $S_A$  Celková instalovaná plocha absorberu solárních kolektorů [m<sup>2</sup>],  
 $Q_k$  Využitelné energetické zisky solárních kolektorů [kWh·m<sup>-2</sup>·měsíc<sup>-1</sup>].

Tepelná bilance na přípravu TV (nadbytky nedostatky), viz. Příloha C:

$$Balance_{TV} = Q_{max} - Q_{TV} \quad (4.18.)$$

$$Balance_{TV} = 932,865 - 512,80$$

$$Balance_{TV} = 420,07 \text{ [kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}\text{]}$$

kde:  $Balance_{TV}$  Tepelná bilance na přípravu TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $Q_{max}$  Maximální tepelný zisk ze solárního systému [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku):

$$Zisk_{TV} = Q_{TV} = 512,80 [kWh \cdot měsíc^{-1}] \quad (4.19.)$$

kde:  $Zisk_{TV}$  Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku) [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

Pokrytí přípravy TV solárním systémem:

$$k_{TV} = \frac{Zisk_{TV}}{Q_{TV}} \cdot 100 \quad (4.20.)$$

$$k_{TV} = \frac{512,80}{512,80} \cdot 100$$

$$k_{TV} = 100 [\%]$$

kde:  $k_{TV}$  Pokrytí přípravy TV solárním systémem [%],  
 $Zisk_{TV}$  Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku) [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

Využití solární energie na přípravu TV:

$$k_{TV\_využ.} = \frac{Zisk_{TV}}{Q_{max}} \cdot 100 \quad (4.21.)$$

$$k_{TV\_využ.} = \frac{512,80}{932,865} \cdot 100$$

$$k_{TV\_využ.} = 55 [\%]$$

kde:  $k_{TV\_využ.}$  Využití solární energie na přípravu TV [%],  
 $Zisk_{TV}$  Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku) [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],  
 $Q_{max}$  Maximální tepelný zisk ze solárního systému [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

Tepelná bilance na přípravu TV (nadbytky nedostatky), viz Příloha D:

$$Balance_{TV+VYT} = Q_{max} - (Q_{TV} + Q_{VYT}) \quad (4.22.)$$

$$Balance_{TV+VYT} = 932,865 - (512,80 + 3\,064)$$

$$Balance_{TV+VYT} = -2\,643,89 [kWh \cdot měsíc^{-1}]$$

kde:  $Balance_{TV+VYT}$  Tepelná bilance na přípravu TV a vytápění [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ],  
 $Q_{\max}$  Maximální tepelný zisk ze solárního systému [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ].

Pokrytí přípravy TV a vytápění solárním systémem:

$$k_{TV+VYT} = KDYZ(Q_{VYT} = 0; 100; \left(\frac{Q_{\max}}{(Q_{TV} + Q_{VYT})}\right) * 100 \quad (4.23.)$$

$$k_{TV+VYT} = \frac{932,865}{(512,80 + 3\,064)} * 100$$

$$k_{TV+VYT} = 26,1 [\%]$$

kde:  $k_{TV+VYT}$  Pokrytí přípravy TV a vytápění solárním systémem [%],  
 $Q_{\max}$  Maximální tepelný zisk ze solárního systému [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ],  
 $Q_{TV}$  Potřebné množství tepla na ohřev TV [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ].  
 $Q_{VYT}$  Potřebné množství tepla na vytápění [ $\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ].

Doba provozu čerpadla solárního okruhu v měsíci bez využití nadbytků:

$$\tau_{CZ\_TV} = CZ_{mes} \cdot \left(\frac{k_{TV\_využ.}}{100}\right) \quad (4.24.)$$

$$\tau_{CZ\_TV} = 240 \cdot \left(\frac{55}{100}\right)$$

$$\tau_{CZ\_TV} = 132 [hod]$$

kde:  $\tau_{CZ\_TV}$  Doba provozu čerpadla solárního okruhu v měsíci bez využití nadbytků [hod],  
 $CZ_{mes}$  Měsíční doba provozu čerpadla [hod],  
 $k_{TV\_využ.}$  Využití solární energie na přípravu TV [%].

#### 4.7. Návrh solárního okruhu

##### Stanovení průměru potrubí solárního okruhu

Potrubí rozvodu teplotního média, je postihováno také tepelnými ztrátami. Proto nemá být průměr trubek solárního okruhu moc velký. Připojovací rozměry zvoleného solárního kolektoru jsou 4x22 mm. Volím tedy měděné potrubí solárního okruhu o průměru 22x1 mm (vnitřní průměr 20 mm).

**Stanovení tlakových ztrát solárního okruhu**

Doporučený objemový průtok daného teplotnosného média zvoleného solárního kolektoru udává jeho výrobce v rozmezí  $60 - 120 [l \cdot h^{-1}]$  na jeden kolektor, který má plochu absorberu  $1,991 [m^2]$ .

$$\text{Volím } 120 [l \cdot h^{-1}] = 120 [dm^3 \cdot h^{-1}] = 0,12 [m^3 \cdot h^{-1}] = 333 \cdot 10^{-7} [m^3 \cdot s^{-1}].$$

V kapitole (4.5) se stanovil počet instalovaných slunečních kolektorů KPH1-ALP na 7 kusů o celkové ploše absorberu  $S_A = 13,937 m^2$ .

Objemový průtok teplotnosného média potrubím solárního systému:

$$\dot{V}_1 = 333 \cdot 10^{-7} \cdot 7 \quad (4.25.)$$

$$\dot{V}_1 = 0,0002331 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:  $\dot{V}_1$  Objemový průtok teplotnosného média potrubím solárního systému  $[m^3 \cdot s^{-1}]$ .

Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí:

$$w_{sp} = \frac{\dot{V}_1}{S_1} = \frac{\dot{V}_1}{\frac{\pi \cdot d_{sp}^2}{4}} \quad (4.26.)$$

$$w_{sp} = \frac{0,0002331}{\frac{\pi \cdot 0,02^2}{4}}$$

$$w_{sp} = 0,742 [m \cdot s^{-1}]$$

kde:  $w_{sp}$  Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí  $[m \cdot s^{-1}]$ ,

$\dot{V}_1$  Objemový průtok teplotnosného média potrubím solárního systému  $[m^3 \cdot s^{-1}]$ ,

$S_1$  Průřez potrubí solárního okruhu  $[m^2]$ ,

$d_{sp}$  Vnitřní průměr solárního potrubí  $[m]$ .

Reynoldsovo kritérium teplotnosného média v solárním potrubí:

$$Re_{sp} = \frac{w_{sp} \cdot d_{sp}}{\nu_{stř,s}} \quad (4.27.)$$

$$Re_{sp} = \frac{0,742 \cdot 0,02}{1,89545 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re_{sp} = 7\,829 \Rightarrow \text{Turbulentní proudění (dle [31], [32]) kdy } Re_{sp} \geq 4\,000$$

kde:  $Re_{sp}$  Reynoldsovo kritérium teplotnosného média v solárním potrubí [1],

$w_{sp}$  Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí  $[m \cdot s^{-1}]$ ,

$d_{sp}$  Vnitřní průměr trubky solárního potrubí  $[m]$ ,

$\nu_{stř,s}$  Kinematická viskozita teplotnosného média  $[m^2 \cdot s^{-1}]$ .

Kinematickou viskozitu teplotnosného média (Monopropylenglykol) volím pro nejbližší vypočtenou určovací teplotu (viz. rovnice (5.40)) pomoci tabulek [23], [24], pro kterou platí kinematická viskozita  $\nu_{stř,vs} = 1,89545 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$ .

Součinitel tření solárního potrubí (Blasiusova rovnice), (dle [1] na str. 118 nebo dle [32] na str. 18.):

$$\lambda_{zt,sp} = \frac{0,3164}{Re_{sp}^{0,25}} \quad (4.28.)$$

$$\lambda_{zt,sp} = \frac{0,3164}{7\,829^{0,25}}$$

$$\lambda_{zt,sp} = 0,034$$

kde:  $\lambda_{zt,sp}$  Součinitel tření solárního potrubí [1],

$Re_{sp}$  Reynoldsovo kritérium teplotnosného média v solárním potrubí [1].

Tlaková ztráta třením:

$$\Delta p_{zt} = \frac{\lambda_{zt,sp}}{d_{sp}} \cdot \rho_{stř,vs} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot l_{sp} \quad (4.29.)$$

$$\Delta p_{zt} = \frac{0,034}{0,02} \cdot 1\,014,6 \cdot \frac{0,742^2}{2} \cdot 43$$

$$\Delta p_{zt} = 20\,416,9 \text{ [Pa]}$$

kde:  $\Delta p_{zt}$  Tlaková ztráta třením [Pa],

$\lambda_{zt,sp}$  Součinitel tření solárního potrubí [1],

$d_{sp}$  Vnitřní průměr potrubí [m],

$\rho_{stř,vs}$  Hustota teplotnosného média [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

$w_{sp}$  Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$l_{sp}$  Délka solárního potrubí [m].

Hustotu teplotnosného média (Monopropylenglykol) volím pro nejbližší vypočtenou určovací teplotu (viz. rovnice (5.40)) pomoci tabulek [23], [24], pro kterou platí hustota  $\rho_{stř,vs} = 1\,014,6 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$ .

Tlaková ztráta místními odpory (kolena, armatury):

$$\Delta p_{\xi} = \sum \xi \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{stř,vs} \cdot z \quad (4.30.)$$

$$\Delta p_{\xi} = (\xi_{uv} \cdot z + \xi_{zk} \cdot z + \xi_{ob} \cdot z + \xi_k \cdot z) \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{stř,vs}$$

$$\Delta p_{\xi} = (0,5 \cdot 3 + 2,2 \cdot 1 + 0,15 \cdot 2 + 1,5 \cdot 7) \cdot \frac{0,742^2}{2} \cdot 1\,014,6$$

$$\Delta p_{\xi} = 4\,050 \text{ [Pa]}$$

kde:  $\Delta p_{\xi}$  Tlaková ztráta místními odpory [Pa],  
 $\xi$  Součinitel místní tlakové ztráty [1], (dle [16] na str. 14, [33], [34] na str. 23),  
 $\xi_{uv}$  Součinitel místní tlakové ztráty uzavíracího ventilu [1],  
 $\xi_{zk}$  Součinitel místní tlakové ztráty zpětné klapky [1],  
 $\xi_{ob}$  Součinitel místní tlakové ztráty oblouku [1],  
 $\xi_k$  Součinitel místní tlakové ztráty kolen [1],  
 $w_{sp}$  Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $\rho_{stř,vs}$  Hustota teplotnosného média [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] (při 50 °C),  
 $z$  Počet kusů [ks].

Tlaková ztráta kolektoru:

$$\Delta p_{kol} = \Delta p_{kol-1} \cdot pk \quad (4.31.)$$

$$\Delta p_{kol} = 300 \cdot 7$$

$$\Delta p_{kol} = 2\,100 \text{ [Pa]}$$

kde:  $\Delta p_{kol}$  Tlaková ztráta všech kolektoru [Pa],  
 $p_{kol-1}$  Tlaková ztráta jednoho kolektoru [Pa],  
 $pk$  Počet kolektoru [ks].

Tlakovou ztrátu kolektoru určíme z charakteristiky (Obr. 4.2) od výrobce kolektoru [20], pro zvolený průtok 120 [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ].

Tlaková ztráta solárního výměníku:

$$\Delta p_{sol_v} = \left( \lambda_{zt,sp} \cdot \frac{l_s}{d_{s1}} + \sum \xi_{sol_v} \right) \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{stř,vs} \quad (4.1.)$$

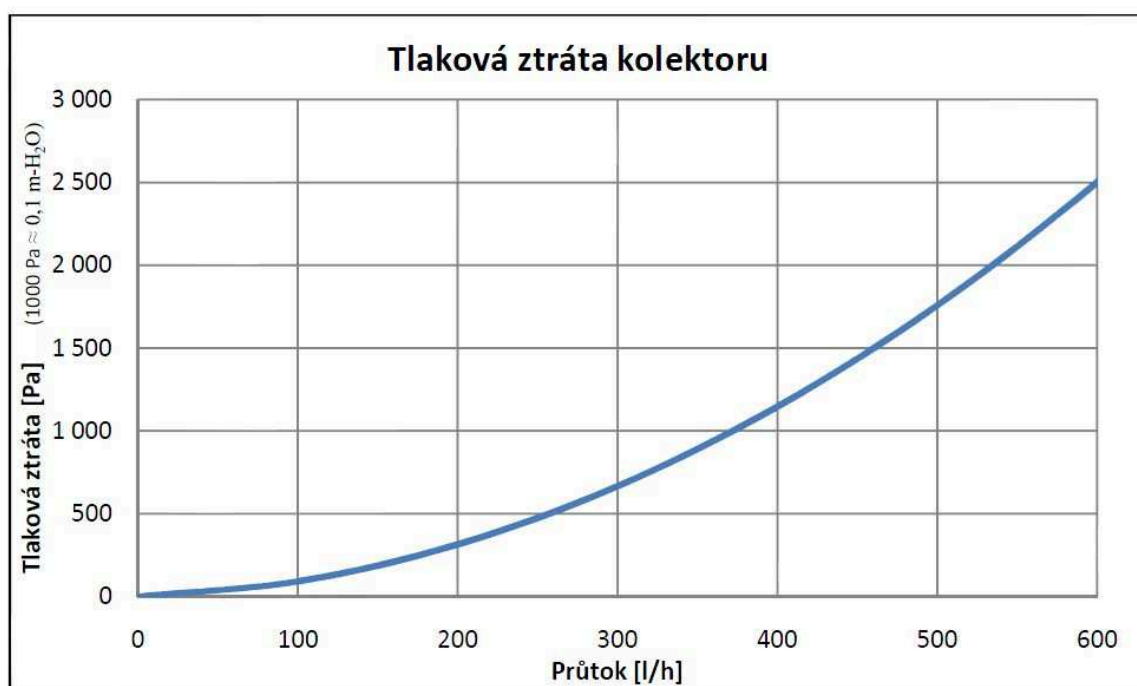
$$\Delta p_{sol_v} = \left( 0,034 \cdot \frac{30,81}{0,025} + 10 \right) \cdot \frac{0,742^2}{2} \cdot 1\,014,6$$

$$\Delta p_{sol_v} = 14\,496,2 \text{ [Pa]}$$

kde:  $\Delta p_{sol_v}$  Tlaková ztráta solárního výměníku [Pa],  
 $\lambda_{zt,sp}$  Součinitel tření solárního potrubí [1],

$l_s$	Zvolená délka solárního výměníku [m] (viz rovnice 5.67.),
$d_{s1}$	Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m], viz kapitola 5,
$\xi_{sol\_v}$	Součinitel místní tlakové ztráty solárního výměníku [1],
$w_{sp}$	Rychlost proudění teplotnosného média v solárním potrubí [ $m \cdot s^{-1}$ ],
$\rho_{stř,vs}$	Hustota teplotnosného média [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

$\sum \xi_{sol\_v}$  je součet součinitelů místní tlakové ztráty – 25 závitů solárního výměníku (1 závit jsou 2 oblouky  $180^\circ$ , kde  $\xi$  jednoho  $180^\circ$  oblouku je 0,2).  $\sum \xi_{sol\_v}$  je tedy  $25 \cdot 2 \cdot 0,2 = 10$ . Závity solárního výměníku jsem vypočetl podle vypočtené délky solárního výměníku (viz rovnice 5.67) a poloměru vinutí solárního výměníku (viz kapitola 5).



Obr. 4.2. Tlaková ztráta kolektoru [20]

Celková tlaková ztráta solárního okruhu:

$$\Delta p_c = \Delta p_{zt} + \Delta p_\xi + \Delta p_{kol} + \Delta p_{sol\_v} \quad (4.2.)$$

$$\Delta p_c = 20\,416,9 + 4\,050 + 2\,100 + 14\,496,2$$

$$\Delta p_c = 41\,063,1 \text{ [Pa]}$$

kde:  $\Delta p_c$  Celková tlaková ztráta solárního okruhu [Pa],

$\Delta p_{zt}$  Tlaková ztráta třením [Pa],

$\Delta p_{\xi}$	Tlaková ztráta místními odpory [Pa],
$\Delta p_{kol}$	Tlaková ztráta všech kolektorů [Pa],
$\Delta p_{sol\_v}$	Tlaková ztráta solárního výměníku [Pa].

### **Stanovení oběhového čerpadla solárního okruhu**

Čerpadlo zabezpečuje cirkulaci teplotnosného média mezi kolektory a akumulacním zásobníkem, kdy překonává tlakové ztráty potrubní sítě.

Výpočtová dopravní výška čerpadla:

$$H_d = \frac{\Delta p_c}{\rho_{stř,vs} \cdot g} \quad (4.3.)$$

$$H_d = \frac{41\,063,1}{1\,014,6 \cdot 9,81}$$

$$H_d = 4,13 \text{ [m]}$$

kde:  $H_d$  Výpočtová dopravní výška čerpadla [m],  
 $\Delta p_c$  Celková tlaková ztráta solárního okruhu [Pa],  
 $\rho_{stř,vs}$  Hustota teplotnosného média [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] (při 50 °C),  
 $g$  Gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

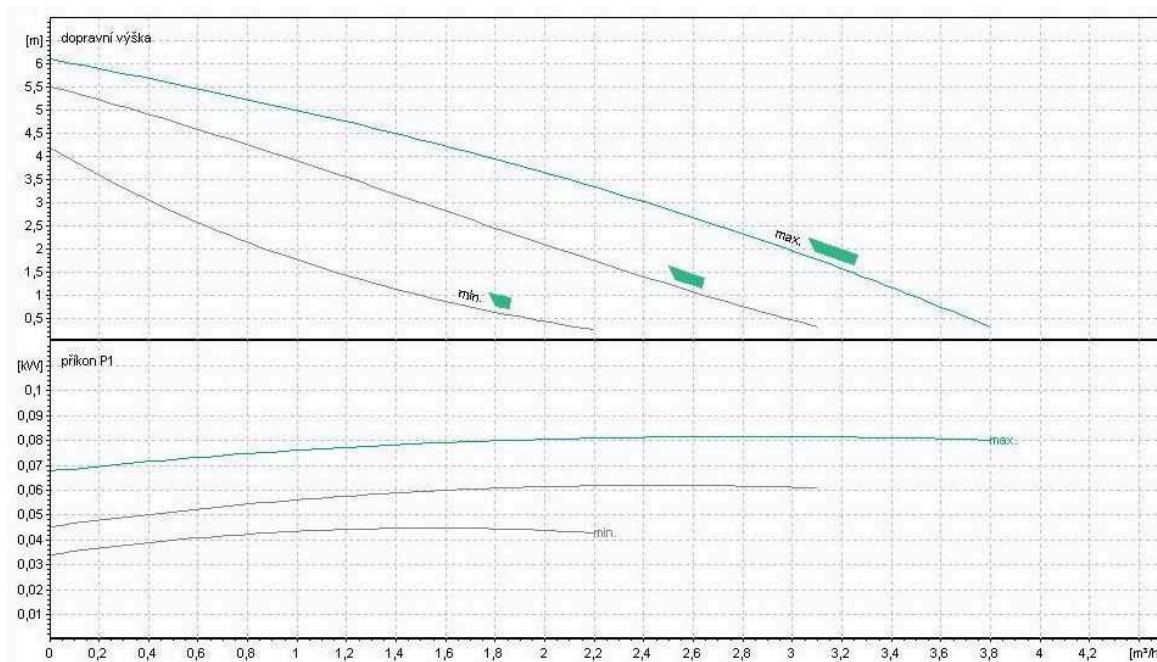
Na začátku této podkapitoly jsem stanovil objemový průtok (dle rovnice 4.23.):

$$\dot{V}_1 = 0,0002331 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] = 0,84 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}].$$

Pro tento stanovený průtok a výpočtovou dopravní výšku čerpadla volím čerpadlo **WILO Star-ST 15/6**, kde je maximální dopravní výška 6 [m] a příkon se pohybuje od 65 [W] do 125 [W]. Přípustné teplotní rozmezí je od -10°C do +110°C. Na obr. 4.3 jsou zaznačené charakteristiky zvoleného čerpadla udávaného výrobcem.

Podle obr. 4.3 požadovanému průtoku 0,84 [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ] odpovídá dopravní výška 5,4 [m] a příkon 76 [W].





Obr. 4.3. Charakteristiky čerpadla VILO Star – ST 15/6 znázorňující závislost průtoku na dopravní výšce a na příkonu [37]

### **Stanovení tlakové membránové expanzní nádoby solárního okruhu**

Expanzní tlaková nádoba vyrovnává změny objemu teplotnosného média vlivem tepelné objemové roztažnosti. Výpočty provedu dle [8] str. 157 a [1].

Stanovené hodnoty k návrhu expanzní nádoby:

- Objem 1 m solárního výměníku:  $V_{sol} = 0,491 \text{ l}$ ,
- Objem teplotnosného média v solárním kolektoru:  $V_{kol} = 1,5 \text{ l}$ ,
- Objem 1 m přípojovacího solárního potrubí:  $V_{s\_pot} = 0,314 \text{ l}$ ,
- Délka potrubí solárního výměníku v zásobníku:  $l_s = 30,81 \text{ m}$  (viz rovnice 5.67.),
- Délka solárního potrubí:  $l_{sp} = 43 \text{ m}$ ,
- Počet kolektoru:  $p_k = 7 \text{ ks}$ ,
- Výška hladiny nad expanzní nádobou:  $h_s = 8,6 \text{ m}$ ,
- Otvírací tlak pojistného ventilu:  $p_{pv} = 600 \text{ kPa}$ ,
- Požadovaný přetlak ve studeném kolektorovém poli:  $p_{kv} = 50 \text{ kPa}$ ,
- Atmosferický tlak:  $p_b = 100 \text{ kPa}$ .

Objem teplotnosného média v solárním okruhu:

$$V_{so} = V_{sol} \cdot l_s + V_{kol} \cdot p_k + V_{s\_pot} \cdot l_{sp} \quad (4.4.)$$

$$V_{so} = 0,491 \cdot 30,81 + 1,5 \cdot 7 + 0,314 \cdot 43$$

$$V_{so} = 39,1 [l]$$

- kde:  $V_{so}$  Objem teplotonosného média v solárním okruhu [l],  
 $V_{sol}$  Objem 1 m solárního výměníku [l],  
 $l_s$  Délka potrubí solárního výměníku v zásobníku [m],  
 $V_{kol}$  Objem teplotonosného média v solárním kolektoru [l],  
 $pk$  Počet kolektoru [ks],  
 $V_{s\_pot}$  Objem 1 m přípojovacího solárního potrubí [l],  
 $l_{sp}$  Délka solárního potrubí [m].

Součinitel tepelné roztažnosti při změně objemu:

$$\Delta\beta_s = \beta_{s2} - \beta_{s1} \quad (4.5.)$$

$$\Delta\beta_s = 0,08180 - 0$$

$$\Delta\beta_s = 0,08180$$

- kde:  $\Delta\beta_s$  Součinitel tepelné roztažnosti teplotonosného média při změně objemu [1],  
 $\beta_{s1}$  Součinitel tepelné roztažnosti při 10°C [1] dle [23],  
 $\beta_{s2}$  Součinitel tepelné roztažnosti při 110°C [1] dle [23].

Objem při změně objemu teplotonosného média:

$$V_e = V_{so} \cdot \Delta\beta_s \quad (4.6.)$$

$$V_e = 39,1 \cdot 0,08180$$

$$V_e = 3,2 [l]$$

- kde:  $V_e$  Objem při změně objemu teplotonosného média [l],  
 $V_{so}$  Objem teplotonosného média v solárním okruhu [l],  
 $\Delta\beta_s$  Součinitel tepelné roztažnosti teplotonosného média při změně objemu [1].

Vodní předloha:

$$V_{wv} = V_{so} \cdot \frac{0,5}{100} \quad (4.7.)$$

$$V_{wv} = 39,1 \cdot \frac{0,5}{100}$$

$$V_{wv} = 0,2 [l]$$

$$V_{wv} < 3 l, \text{ proto dále dosazeno } V_{wv} = 3 l$$

$$\text{kde: } V_{wv} \quad \text{Vodní předloha [l],}$$

$$V_{so} \quad \text{Objem teplotonosného média v solárním okruhu [l].}$$

Objem teplotonosného média vytlačeny párou z kolektoru:

$$V_{vyt} = V_{kol} \cdot pk \quad (4.8.)$$

$$V_{vyt} = 1,55 \cdot 7$$

$$V_{vyt} = 10,85 [l]$$

$$\text{kde: } V_{vyt} \quad \text{Objem teplotonosného média vytlačeny párou z kolektoru [l],}$$

$$V_{kol} \quad \text{Objem teplotonosného média v solárním kolektoru [l],}$$

$$pk \quad \text{Počet kolektoru [ks].}$$

Statický tlak solárního okruhu:

$$p_s = h_s \cdot \rho_{stř,vs} \cdot g \quad (4.9.)$$

$$p_s = 8,6 \cdot 1\,014,6 \cdot 9,81$$

$$p_s = 85,6 [kPa]$$

$$\text{kde: } p_s \quad \text{Statický tlak solárního okruhu [kPa],}$$

$$h_s \quad \text{Výška hladiny nad expanzní nádobou [m],}$$

$$\rho_{stř,vs} \quad \text{Hustota teplotonosného média [kg \cdot m^{-3}] (při 50 \text{ } ^\circ\text{C}),}$$

$$g \quad \text{Gravitační zrychlení [m \cdot s^{-2}].}$$

Pracovní difference (minimálně 50 kPa):

$$p_{pa} = 0,1 \cdot p_{pv} \quad (4.10.)$$

$$p_{pa} = 0,1 \cdot 600$$

$$p_{pa} = 60 [kPa]$$

$$\text{kde: } p_{pa} \quad \text{Pracovní difference [kPa] (10\% o\text{tv} \acute{\text{r}} \acute{\text{a}} \text{c} \acute{\text{ı}} \text{ho tlaku),}$$

$$p_{pv} \quad \text{O\text{tv} \acute{\text{r}} \acute{\text{a}} \text{c} \acute{\text{ı}} \text{ tlak pojistn \acute{\text{e}} ho ventilu [kPa].}$$

Konečný tlak soustavy:

$$p_e = p_{pv} - p_{pa} \quad (4.11.)$$

$$p_e = 600 - 60$$

$$p_e = 540 \text{ [kPa]}$$

kde:  $p_e$  Konečný tlak soustavy [kPa],  
 $p_{pv}$  Otvírací tlak pojistného ventilu [kPa],  
 $p_{pa}$  Pracovní diference [kPa] (10% otvíracího tlaku).

Plnicí tlak:

$$p_0 = p_s + p_{kv} \quad (4.12.)$$

$$p_0 = 85,6 + 50$$

$$p_0 = 135,6 \text{ [kPa]}$$

kde:  $p_0$  Plnicí tlak [kPa],  
 $p_s$  Statický tlak solárního okruhu [kPa],  
 $p_{kv}$  Požadovaný přetlak ve studeném kolektorovém poli [kPa].

Celkové expandované množství pro expanzní nádrž:

$$V_{ges} = V_e + V_{wv} + V_{vyt} \quad (4.13.)$$

$$V_{ges} = 3,2 + 3 + 10,85$$

$$V_{ges} = 17,05 \text{ [l]}$$

kde:  $V_{ges}$  Celkové expandované množství pro expanzní nádrž [l],  
 $V_e$  Objem při změně objemu teplotnosného média [l],  
 $V_{wv}$  Vodní předloha [l],  
 $V_{vyt}$  Objem teplotnosného média vytlačeny párou z kolektoru [l].

Jmenovitý objem expanzní nádrže:

$$V_n = V_{ges} \cdot \frac{p_e + p_b}{p_e - p_0} \quad (4.14.)$$

$$V_n = 17,05 \cdot \frac{540 + 100}{540 - 135,6}$$

$$V_n = 26,98 \text{ [l]}$$

kde:  $V_n$  Jmenovitý objem expanzní nádrže [l],  
 $V_{ges}$  Celkové expandované množství pro expanzní nádrž [l],  
 $p_e$  Konečný tlak soustavy [kPa],  
 $p_b$  Atmosférický tlak [kPa],  
 $p_0$  Plnicí tlak [kPa].

Pro navrhovaný solární systém navrhuji solární expanzní nádobu od výrobce Regulus typu **REGULUS R8 040 241** o objemu 40 [l].

#### 4.8. Návrh kotlového přitápěcího okruhu

U tohoto okruhu na podporu přitápění by se vycházelo ze stejných vztahů jako v předešlé kapitole. Ale protože ve stávajícím vytápěcím systému daného objektu se již vyskytuje čerpadlo **WILO Star – RS 25/60r** jež využiji v okruhu na podporu přitápění, nebudu oběhové čerpadlo navrhovat. Z tohoto důvodu také nebudu stanovovat tlakové ztráty kotlového okruhu, neboť čerpadlo je dle jeho daných parametrů pro tento okruh předimenzované. Potrubí kotlového okruhu volím měděné o průměru 28x1,5 mm (vnitřní průměr 25 mm). Teplonosným médiem tohoto okruhu je voda. Tlakovou expanzní nádobu nebudu stanovovat z důvodu připojení přitápěcího okruhu na otopný systém, jenž má otevřenou expanzní nádobu.

#### 4.9. Celkový energetický zisk solárního systému

Celkový energetický zisk solárního systému je uvažován při nevyužití nadbytku.

Příkon čerpadla:

$$P_1 = 76 [W] \quad (4.15.)$$

kde:  $P_1$  Příkon čerpadla [W].

Roční spotřeba energie:

$$E_{spot} = P_1 \cdot \left( \sum \tau_{CZ_{TV_{I.-XII.}}} \right) \quad (4.16.)$$

$$E_{spot} = 76 \cdot 1\,424,89$$

$$E_{spot} = 108,292 [kWh \cdot rok^{-1}]$$

kde:  $E_{spot}$  Roční spotřeba energie [ $kWh \cdot rok^{-1}$ ],

$P_1$	Příkon čerpadla [W],
$\tau_{CZ\_TV}$	Doba provozu čerpadla solárního okruhu v měsíci bez využití nadbytků [hod].

Procentuální podíl energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla:

$$E_{cer\_rok} = \frac{E_{spot}}{\sum Zisk_{TVI.-XII.}} \quad (4.17.)$$

$$E_{cer\_rok} = \left( \frac{108,292}{5\,261,15} \right) \cdot 100$$

$$E_{cer\_rok} = 2,06 [\%]$$

kde:	$E_{cer\_rok}$	Procentuální podíl energie z ročního zisku solárního systému pro pohon čerpadla [%],
	$E_{spot}$	Roční spotřeba energie [ $kWh \cdot rok^{-1}$ ]
	$Zisk_{TV}$	Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku) [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ].

Celkový roční zisk energie solárního systému:

$$Zisk_{TV\_rok} = \sum Zisk_{TVI.-XII.} - E_{spot} \quad (4.18.)$$

$$Zisk_{TV\_rok} = 5\,261,15 - 108,292$$

$$Zisk_{TV\_rok} = 5\,152,863 [kWh \cdot rok^{-1}]$$

kde:	$Zisk_{TV\_rok}$	Celkový zisk energie solárního systému na přípravu TV za rok (bez nadbytku) [ $kWh \cdot rok^{-1}$ ],
	$Zisk_{TV}$	Zisk solárního systému na přípravu TV (bez nadbytku) [ $kWh \cdot měsíc^{-1}$ ],
	$E_{spot}$	Roční spotřeba energie [ $kWh \cdot rok^{-1}$ ].

Navrhovaný solární systém je schopen získat  $5\,152,863 [kWh \cdot rok^{-1}]$  energie ze slunečního záření bez využití nadbytku i ze započítanou potřebou energie pro oběhové čerpadlo. Budu ještě uvažovat potřebu 1% energie pro elektronickou regulaci systému. Skutečný celkový roční zisk energie solárního systému tedy bude:

$$Zisk_{TV\_rok\_skut.} = 5\,101,3 [kWh \cdot rok^{-1}]$$

## 5. Návrh solárního akumulčního zásobníku

Stanovené hodnoty k návrhu solárního akumulčního zásobníku:

- Množství teplé užitkové vody (TUV) na osobu za den:  $V_{TV,os}=50 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ ,
- Počet žijících osob v rodinném domě:  $os=5$ ,
- Požadovaná teplota teplé vody (TV):  $t_{TV}=55^\circ\text{C}$ ,
- Teplota studené vody (SV) přiváděná do zásobníku:  $t_{SV}=10^\circ\text{C}$ ,
- Teplota přiváděného a odváděného média v solárním okruhu:  $60/40^\circ\text{C}$ ,
- Teplota přiváděného a odváděného média v kotlovém okruhu:  $80/60^\circ\text{C}$ ,
- Materiál výměníku: měď
- Součinitel tepelné vodivosti mědi  $\lambda_{Cu} = 385 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
- Průměr trubky solárního a kotlového výměníku:  $\varnothing 28 \times 1,5 \text{ mm}$  (vnější průměr x tloušťka stěny)  $d_{s1}$  a  $d_{k1}$  – Vnitřní průměr trubky,  $d_{s2}$  a  $d_{k2}$  – Vnější průměr trubky.
- Teplonosné médium kotlového okruhu - voda
- Teplonosné médium solárního okruhu je směs vody a Monopropylenglykolu v poměru 1:1, s obsahem inhibitoru koroze, rozpuštěné v kapalině. Inhibitory umožňují zamezit korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů.
- Poloměr vinutí kotlového a solárního výměníku je 0,2 m.
- K zateplení zásobníku použijí minerální vlnu tloušťky 100 mm.

### 5.1. Výpočty společné pro kotlový i solární okruh

Potřebné množství tepla na ohřev 250 l vody:

$$Q_{pot} = V_{TV,d} \cdot c_p \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \quad (5.1.)$$

$$Q_{pot} = 250 \cdot 4,174 \cdot (55 - 10)$$

$$Q_{pot} = 46\,957,5 \text{ [KJ} \cdot \text{den}^{-1}]$$

- kde:
- $Q_{pot}$  Potřebné množství tepla na ohřev vody [ $\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}$ ],
  - $V_{TV,d}$  Celková potřeba teplé vody za den [ $\text{l} \cdot \text{den}^{-1}$ ], viz rovnice (4.1.),
  - $c_p$  Měrná tepelná kapacita vody [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],
  - $t_{TV}$  Požadovaná teplota teplé vody [ $^\circ\text{C}$ ],
  - $t_{SV}$  Teplota studené vody z vodovodu [ $^\circ\text{C}$ ].

Na tepelné ztráty zásobníku a potrubního rozvodu dle [1] na str. 91, se předpokládá 30 % ( $z=0,3$ ), proto z celkové užitečné spotřeby tepla je skutečná denní spotřeba:

$$Q_{pot,SK} = Q_{pot} \cdot (1 + z) \quad (5.2.)$$

$$Q_{pot,SK} = 46\,957,5 \cdot (1 + 0,3)$$

$$Q_{pot,SK} = 61\,044,75 \text{ [KJ} \cdot \text{den}^{-1}\text{]}$$

kde:  $Q_{pot,SK}$  Skutečné potřebné množství tepla na ohřev vody [ $\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}$ ],  
 $Q_{pot}$  Potřebné množství tepla na ohřev vody [ $\text{kJ} \cdot \text{den}^{-1}$ ],  
 $z$  přírážka na tepelné ztráty soustavy [1].

Střední teplota vody v zásobníku (určovací teplota pro hustotu vody):

$$t_{stř,z} = \frac{t_{TV} + t_{SV}}{2} \quad (5.3.)$$

$$t_{stř,z} = \frac{55 + 10}{2}$$

$$t_{stř,z} = 32,5 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

kde:  $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{TV}$  Požadovaná teplota teplé vody [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{SV}$  Teplota studené vody z vodovodu [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Pomocí tabulek je určena nejbližší teplota pro vypočtenou určovací teplotu, pro kterou platí hustota  $\rho_{v,stř,z} = 995,7 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$ .

## 5.2. Výpočet výměníku kotlového okruhu

Výměník kotlového okruhu je situován v horní části akumulčního zásobníku. Teplonosným médiem v kotlovém okruhu je voda, která není žádným zvláštním způsobem upravována. U výměníku kotlového okruhu je zadán potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu  $\tau = 1 \text{ [h]}$ .

Topný výkon kotlového výměníku pro denní ohřev 250 l vody:

$$Q_{t1} = \frac{Q_{pot,SK}}{\tau_1} \quad (5.4.)$$

$$Q_{t1} = \frac{61\,044,75}{1 \cdot 3\,600}$$



$$Q_{t1} = 16,96 \text{ [kW]}$$

- kde:  $Q_{t1}$  Topný výkon kotlového výměníku [kW],  
 $Q_{pot}$  Potřebné množství tepla na ohřev vody [kJ·den<sup>-1</sup>],  
 $\tau_1$  Potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu [h].

Hmotnostní průtok teplotnosného média ve výměníku kotlového okruhu:

$$Q_{t1} = m_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1' - t_1'') \quad (5.5.)$$

$$m_1 = \frac{Q_{t1}}{c_{p1} \cdot (t_1' - t_1'')}$$

$$m_1 = \frac{16,96}{4,174 \cdot (80 - 60)}$$

$$m_1 = 0,203 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

- kde:  $m_1$  Hmotnostní průtok teplotnosného média [kg·s<sup>-1</sup>],  
 $Q_{t1}$  Topný výkon kotlového výměníku [kW],  
 $c_{p1}$  Měrná tepelná kapacity teplotnosného média [kJ·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>],  
 $t_1'$  Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku [°C],  
 $t_1''$  Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku [°C].

Střední teplota teplotnosného média ve výměníku kotlového okruhu:

$$t_{stř,vk} = \frac{t_1' + t_1''}{2} \quad (5.6.)$$

$$t_{stř,vk} = \frac{80 + 60}{2}$$

$$t_{stř,vk} = 70 \text{ [°C]}$$

- kde:  $t_{stř,vk}$  Střední teplota teplotnosného média v kotlovém výměníku [°C],  
 $t_1'$  Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku [°C],  
 $t_1''$  Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku [°C].

Pomocí tabulek je určena nejbližší teplota pro vypočtenou určovací teplotu, pro kterou platí hustota  $\rho_{stř,vk} = 977,8 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$ .

Objem průtoku teplotosného média ve výměníku kotlového okruhu:

$$V_{kv} = \frac{m_1}{\rho_{stř,vk}} \quad (5.7.)$$

$$V_{kv} = \frac{0,203}{977,8}$$

$$V_{kv} = 0,000208 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:  $V_{kv}$  Objem průtoku teplotosného média v kotlovém výměníku [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ],

$m_1$  Hmotnostní průtok teplotosného média [ $kg \cdot s^{-1}$ ],

$\rho_{stř,vk}$  Hustota teplotosného média v kotlovém výměníku [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

Průřez měděné trubky výměníku v kotlovém okruhu:

$$S_{kv} = \frac{\pi \cdot d_{k1}^2}{4} \quad (5.8.)$$

$$S_{kv} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4}$$

$$S_{kv} = 0,00049 [m^2]$$

kde:  $S_{kv}$  Průřez trubky kotlového výměníku [ $m^2$ ],

$d_{k1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m].

Rychlost proudění teplotosného média ve výměníku kotlového okruhu:

$$w_{kv} = \frac{V_{kv}}{S_{kv}} \quad (5.9.)$$

$$w_{kv} = \frac{0,000208}{0,00049}$$

$$w_{kv} = 0,423 [m \cdot s^{-1}]$$

kde:  $w_{kv}$  Rychlost proudění teplotosného média v kotlovém výměníku [ $m \cdot s^{-1}$ ],

$V_{kv}$  Objem průtoku teplotosného média v kotlovém výměníku [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ],

$S_{kv}$  Průřez trubky kotlového výměníku [ $m^2$ ].

Určovací střední teplota stěny výměníku v kotlovém okruhu pro fyzikální vlastnosti vody:

$$t_{u,stř,k} = \frac{t_{stř,vk} + t_{stř,z}}{2} \quad (5.10.)$$

$$t_{u,stř,k} = \frac{70 + 32,5}{2}$$

$$t_{u,stř,k} = 51,25 [^{\circ}\text{C}]$$

kde:  $t_{u,stř,k}$  Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotnosného média [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_{stř,vk}$  Střední teplota teplotnosného média v kotlovém výměníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Pomocí tabulek je určena nejbližší teplota pro vypočtenou určovací teplotu teplotnosného média, pro kterou platí:

Kinematická viskozita teplotnosného média:  $\nu_{stř,k} = 0,556 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

Prandtlovo kritérium teplotnosného média:  $\text{Pr}_{stř,k} = 3,54$

Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média:  $\lambda_{stř,k} = 64,72 \cdot 10^{-2} [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosného média:  $\gamma_{stř,k} = 4,49 \cdot 10^{-4} [\text{K}^{-1}]$

### **Výpočet přestupu tepla na vnitřní straně trubky kotlového výměníku:**

Dle [3] na str. 131 – 134, se jedná o přestup tepla při nuceném proudění tekutiny v trubkách.

Reynoldsovo kritérium teplotnosného média v kotlovém okruhu:

$$Re_k = \frac{w_{kv} \cdot d_{k1}}{\nu_{stř,k}} \quad (5.11.)$$

$$Re_k = \frac{0,423 \cdot 0,025}{0,556 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re_k = 19\,028,68 \Rightarrow \textit{Turbulentní proudění}$$

kde:  $Re_k$  Reynoldsovo kritérium teplotnosného média [1],

$w_{kv}$  Rychlost proudění teplotnosného média v kotlovém výměníku [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$d_{k1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],

$\nu_{stř,k}$  Kinematická viskozita teplotnosného média [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Protože pro danou kritériální rovnici platí:

$$\text{Pr} > 0,7$$

$$Re_k > 1 \cdot 10^{-4}$$

Jedná se o turbulentní proudění v trubkách.

Opravný součinitel na neizotermické proudění:

$$\varepsilon_t = \left( \frac{Pr_{stř,k}}{Pr_{s,k}} \right)^{0,25} \quad (5.12.)$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{3,54}{2,55} \right)^{0,25}$$

$$\varepsilon_t = 1,085$$

kde:  $\varepsilon_t$  Opravný součinitel na neizotermické proudění [1],

$Pr_{stř,k}$  Prandtlovo kritérium teplotního média [1],

$Pr_{s,k}$  Prandtlovo kritérium určené pro tekutinu při teplotě stěny [1],

Prandtlovo kritérium určené pro tekutinu při teplotě stěny ( $Pr_s = 2,55$ ) určím z tabulek pro střední teplotu teplotního média v kotlovém výměníku ( $t_{stř,vk}$ ).

Opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech:

$$Re'_{kr} < Re_k < Re''_{kr} \dots \varepsilon_R = 1$$

$$Re_k > Re''_{kr} \dots \varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{d_{k1}}{R}$$

kde:  $\varepsilon_R$  Opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech [1],

$Re'_{kr}$  Kritická hodnota Reynoldsova kritéria [1],

$Re''_{kr}$  Kritická hodnota Reynoldsova kritéria [1],

$d_{k1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],

$R$  Poloměr vinutí kotlového výměníku [m].

Kritické hodnoty Reynoldsova kritéria: Tyto vztahy platí při poměru  $d_{k1}/R \geq 8 \cdot 10^{-4}$ , což v tomto případě platí.

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{d_{k1}}{R}}} \quad (5.13.)$$

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{0,025}{0,2}}}$$

$$Re'_{kr} = 46,39$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{d_{k1}}{2 \cdot R}\right)^{0,28} \quad (5.14.)$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{0,025}{2 \cdot 0,2}\right)^{0,28}$$

$$Re''_{kr} = 8\,511,74$$

Pro kritické hodnoty Reynoldsova kritéria platí:

$$Re_k > Re''_{kr}$$

$$19\,028,68 > 8\,511,74 \dots \dots \dots \varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{d_{k1}}{R}$$

$$\varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{d_{k1}}{R} \quad (5.15.)$$

$$\varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{0,025}{0,2}$$

$$\varepsilon_R = 1,225$$

Opravný součinitel pro délku výměníku:

V případě že  $(l_k / d_{k1}) > 50$  což platí ( $l_k > 1,25$ ), pak  $\varepsilon_l = 1$

kde:  $\varepsilon_l$  Opravný součinitel pro délku výměníku [1],

$l_k$  Délka kotlového výměníku [m],

$d_{k1}$  Vnitřní průměr kotlového výměníku [m].

Nusseltovo kritérium pro turbulentní nucené proudění:

$$Nu_{1, vni} = 0,021 \cdot Re_k^{0,8} \cdot Pr_{stř,k}^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_R \cdot \varepsilon_L \quad (5.16.)$$

$$Nu_{1, vni} = 0,021 \cdot 19\,028,68^{0,8} \cdot 3,54^{0,43} \cdot 1,085 \cdot 1,225 \cdot 1$$

$$Nu_{1, vni} = 125,92$$

kde:  $Nu_{1, vni}$  Nusseltovo kritérium teplotního média uvnitř trubky [1],

$Re_k$  Reynoldsovo kritérium teplotního média [1],

$Pr_{stř,k}$  Prandtlovo kritérium teplotního média [1],

$\varepsilon_t$  Opravný součinitel na neizotermické proudění [1],

$\varepsilon_R$  Opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech [1],

$\varepsilon_l$  Opravný součinitel pro délku výměníku [1].

Součinitel přestupu tepla z teplotnosného média na vnitřní povrch trubky kotlového výměníku (na vnitřní straně):

$$Nu_{1,vni} = \frac{\alpha_{1k} \cdot d_{k1}}{\lambda_{stř,k}} \quad (5.17.)$$

$$\alpha_{1k} = \frac{Nu_{1,vni} \cdot \lambda_{stř,k}}{d_{k1}}$$

$$\alpha_{1k} = \frac{125,92 \cdot 0,6472}{0,025}$$

$$\alpha_{1k} = 3\,259,70 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $\alpha_{1k}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $Nu_{1,vni}$  Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],  
 $\lambda_{stř,k}$  Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $d_{k1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m].

#### **Výpočet přestupu tepla na vnější straně trubky kotlového výměníku:**

Dle [3] na str. 131 – 134, se jedná o přestup tepla při volném proudění tekutiny. Zde můžeme uvažovat o volné konvekci v neomezeném prostoru.

Grashofovo kritérium:

$$Gr_k = \frac{g \cdot d_{k2}^3}{\nu_{stř,k}^2} \cdot \gamma_{stř,k} \cdot (t_{u,stř,k} - t_{stř,z}) \quad (5.18.)$$

$$Gr_k = \frac{9,81 \cdot 0,028^3}{(0,556 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 4,49 \cdot 10^{-4} \cdot (51,25 - 32,5)$$

$$Gr_k = 5\,864\,636,94$$

kde:  $Gr_k$  Grashofovo kritérium [1],  
 $g$  Gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ],  
 $d_{k2}$  Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m],  
 $\nu_{stř,k}$  Kinematická viskozita teplotnosného média [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],  
 $\gamma_{stř,k}$  Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{u,stř,k}$  Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotnosného média [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Dle [3] na str. 132, hodnoty konstant  $c$  a  $n$ , závisí na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria:

$$\begin{aligned} Gr_k \cdot Pr_{stř,k} &< 1 \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots c = 0,45; n = 0 \\ 1 \cdot 10^{-3} &< Gr_k \cdot Pr_{stř,k} < 5 \cdot 10^2 \dots\dots\dots c = 1,18; n = 0,125 \\ 5 \cdot 10^2 &< Gr_k \cdot Pr_{stř,k} < 2 \cdot 10^7 \dots\dots\dots c = 0,54; n = 0,25 \\ 2 \cdot 10^7 &< Gr_k \cdot Pr_{stř,k} \dots\dots\dots c = 0,135; n = 0,333 \end{aligned}$$

$$Gr_k \cdot Pr_{stř,k} = 5\,864\,636,94 \cdot 3,54 = 20\,760\,814,77 \quad (5.19.)$$

Jelikož:  $2 \cdot 10^7 < Gr_k \cdot Pr_{stř,k}$   
 $2 \cdot 10^7 < 20\,760\,814,77$

Volím konstanty:  $c = 0,135; n = 0,333$

Nusseltovo kritérium pro volné proudění:

$$Nu_{1,vně} = c \cdot (Gr_k \cdot Pr_{stř,k})^n \quad (5.20.)$$

$$Nu_{1,vně} = 0,135 \cdot (5\,864\,636,94 \cdot 3,54)^{0,333}$$

$$Nu_{1,vně} = 36,9$$

kde:	$Nu_{1,vně}$	Nusseltovo kritérium teplotního média vně trubky [1],
	$c$	Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria [1],
	$Gr_k$	Grashofovo kritérium [1],
	$Pr_{stř,k}$	Prandtlovo kritérium teplotního média [1],
	$n$	Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria [1].

Součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu trubky kotlového výměníku do akumulčního zásobníku (na vnější straně):

$$Nu_{1,vně} = \frac{\alpha_{2k} \cdot d_{k2}}{\lambda_{stř,k}} \quad (5.21.)$$

$$\alpha_{2k} = \frac{Nu_{1,vně} \cdot \lambda_{stř,k}}{d_{k2}}$$

$$\alpha_{2k} = \frac{36,9 \cdot 0,6472}{0,028}$$

$$\alpha_{2k} = 852,82 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $\alpha_{2k}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$Nu_{1,vn\check{e}}$	Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky [1],
$\lambda_{stř,k}$	Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$d_{k2}$	Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m].

### Výpočet rozměrů výměníku kotlového okruhu:

Součinitel prostupu tepla:

$$k_k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{1k} \cdot d_{k1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{d_{k2}}{d_{k1}} + \frac{1}{\alpha_{2k} \cdot d_{k2}}} \quad (5.22.)$$

$$k_k = \frac{\pi}{\frac{1}{3\,259,70 \cdot 0,025} + \frac{1}{2 \cdot 385} \cdot \ln \frac{0,028}{0,025} + \frac{1}{852,82 \cdot 0,028}}$$

$$k_k = 57,86 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:	$k_k$	Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\alpha_{1k}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\alpha_{2k}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\lambda_{Cu}$	Součinitel tepelné vodivosti mědi [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],
	$d_{k1}$	Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],
	$d_{k2}$	Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m].

Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud:

$$\Delta t_{stř,k} = \frac{(t'_1 - t_{TV}) - (t''_1 - t_{SV})}{\ln \frac{(t'_1 - t_{TV})}{(t''_1 - t_{SV})}} \quad (5.23.)$$

$$\Delta t_{stř,k} = \frac{(80 - 55) - (60 - 10)}{\ln \frac{(80 - 55)}{(60 - 10)}}$$

$$\Delta t_{stř,k} = 36,07 [^{\circ}C]$$

kde:	$\Delta t_{stř,k}$	Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}C$ ],
	$t'_1$	Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku [ $^{\circ}C$ ],
	$t''_1$	Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku [ $^{\circ}C$ ],
	$t_{TV}$	Požadovaná teplota teplé vody [ $^{\circ}C$ ],
	$t_{SV}$	Teplota studené vody z vodovodu [ $^{\circ}C$ ].



Délka kotlového výměníku:

$$Q_{t1} = k_k \cdot \Delta t_{stř,k} \cdot l_k \quad (5.24.)$$

$$l_k = \frac{Q_{t1}}{k_k \cdot \Delta t_{stř,k}}$$

$$l_k = \frac{16,96 \cdot 10^3}{57,86 \cdot 36,07}$$

$$l_k = 8,13 [m]$$

kde:  $Q_{t1}$  Topný výkon kotlového výměníku [kW],  
 $k_k$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\Delta t_{stř,k}$  Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}C$ ],  
 $l_k$  Délka kotlového výměníku [m].

Plocha kotlového výměníku:

$$S_k = \pi \cdot d_{k2} \cdot l_k \quad (5.25.)$$

$$S_k = \pi \cdot 0,028 \cdot 8,13$$

$$S_k = 0,715 [m^2]$$

kde:  $S_k$  Plocha kotlového výměníku [ $m^2$ ],  
 $d_{k2}$  Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m],  
 $l_k$  Délka kotlového výměníku [m].

### **Zpřesnění výpočtu:**

Teplo sdělené 1 m válcové stěny:

$$q_k = k_k \cdot (t_{stř,vk} - t_{stř,z}) \quad (5.26.)$$

$$q_k = 57,86 \cdot (70 - 32,50)$$

$$q_k = 2\,169,76 [W \cdot m^{-1}]$$

kde:  $q_k$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [ $W \cdot m^{-1}$ ],  
 $k_k$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{stř,vk}$  Střední teplota teplotnosného média v kotlovém výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média:

$$t_{k_1} = t_{stř,vk} - \frac{q_k}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{1k} \cdot d_{k1}} \quad (5.27.)$$

$$t_{k_1} = 70 - \frac{2\,169,76}{\pi} \cdot \frac{1}{3\,259,70 \cdot 0,025}$$

$$t_{k_1} = 61,52 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

kde:  $t_{k_1}$  Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média [°C],

$t_{stř,vk}$  Střední teplota teplotnosného média v kotlovém výměníku [°C],

$q_k$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [W·m<sup>-1</sup>],

$\alpha_{1k}$  Součinitel přestupu tepla [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>],

$d_{k1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m].

Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku:

$$t_{k_2} = t_{stř,z} + \frac{q_k}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{2k} \cdot d_{k2}} \quad (5.28.)$$

$$t_{k_2} = 32,5 + \frac{2\,169,76}{\pi} \cdot \frac{1}{852,82 \cdot 0,028}$$

$$t_{k_2} = 61,42 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

kde:  $t_{k_2}$  Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku [°C],

$t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [°C],

$q_k$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [W·m<sup>-1</sup>],

$\alpha_{2k}$  Součinitel přestupu tepla [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>],

$d_{k2}$  Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m].

Z vypočtených teplot stěn, určím z tabulek pro nejbližší teplotu zpřesněné hodnoty

Prandtlůva kritéria:

$$t_{k_1} = 61,52 \text{ [}^\circ\text{C]} \dots \dots \dots Pr_{k1} = 2,98$$

$$t_{k_2} = 61,42 \text{ [}^\circ\text{C]} \dots \dots \dots Pr_{k2} = 2,98$$

Nyní použijeme znovu výpočty od rovnice (5.12.):

Opravný součinitel na neizotermické proudění (na vnitřní straně):

$$\varepsilon_t = \left( \frac{Pr_{stř,k}}{Pr_{k1}} \right)^{0,25} \quad (5.29.)$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{3,54}{2,98} \right)^{0,25}$$

$$\varepsilon_t = 1,04$$

kde:  $\varepsilon_t$       Opravný součinitel na neizotermické proudění [1],  
 $Pr_{stř,k}$       Prandtlovo kritérium teplotnosného média [1],  
 $Pr_{k1}$       Prandtlovo kritérium určené pro tekutinu při teplotě stěny [1].

Nusseltovo kritérium pro turbulentní nucené proudění (na vnitřní straně):

$$Nu_{1,vni} = 0,021 \cdot Re_k^{0,8} \cdot Pr_{stř,k}^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_R \cdot \varepsilon_L \quad (5.30.)$$

$$Nu_{1,vni} = 0,021 \cdot 19\,028,68^{0,8} \cdot 3,54^{0,43} \cdot 1,04 \cdot 1,225 \cdot 1$$

$$Nu_{1,vni} = 121,10$$

kde:  $Nu_{1,vni}$       Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],  
 $Re_k$       Reynoldsovo kritérium teplotnosného média [1],  
 $Pr_{stř,k}$       Prandtlovo kritérium teplotnosného média [1],  
 $\varepsilon_t$       Opravný součinitel na neizotermické proudění [1],  
 $\varepsilon_R$       Opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech [1],  
 $\varepsilon_L$       Opravný součinitel pro délku výměníku [1].

Součinitel přestupu tepla z teplotnosného média na vnitřní povrch trubky kotlového výměníku (na vnitřní straně):

$$Nu_{1,vni} = \frac{\alpha_{1k} \cdot d_{k1}}{\lambda_{stř,k}} \quad (5.31.)$$

$$\alpha_{1k} = \frac{Nu_{1,vni} \cdot \lambda_{stř,k}}{d_{k1}}$$

$$\alpha_{1k} = \frac{121,10 \cdot 0,6472}{0,025}$$

$$\alpha_{1k} = 3\,135,15 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $\alpha_{1k}$       Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $Nu_{1,vni}$       Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],  
 $\lambda_{stř,k}$       Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]  
 $d_{k1}$       Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m].

Grashofovo kritérium (na vnější straně):

$$Gr_k = \frac{g \cdot d_{k2}^3}{\nu_{stř,k}^2} \cdot \gamma_{stř,k} \cdot (t_{k,2} - t_{stř,z}) \quad (5.32.)$$

$$Gr_k = \frac{9,81 \cdot 0,028^3}{(0,556 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 4,49 \cdot 10^{-4} \cdot (61,52 - 32,5)$$

$$Gr_k = 9\,046\,637,26$$

kde:  $Gr_k$  Grashofovo kritérium [1],  
 $g$  Gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ],  
 $d_{k2}$  Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m],  
 $\nu_{stř,k}$  Kinematická viskozita teplotního média [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],  
 $\gamma_{stř,k}$  Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotního média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{k,2}$  Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Konstanty  $c$  a  $n$ , závisí na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria a v tomto případě zůstávají na stejné hodnotě.

Nusseltovo kritérium pro volné proudění (na vnější straně):

$$Nu_{1,vně} = c \cdot (Gr_k \cdot Pr_{stř,k})^n \quad (5.33.)$$

$$Nu_{1,vně} = 0,135 \cdot (9\,046\,637,26 \cdot 3,54)^{0,333}$$

$$Nu_{1,vně} = 42,62$$

kde:  $Nu_{1,vně}$  Nusseltovo kritérium teplotního média vně trubky [1],  
 $c$  Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria [1],  
 $Gr_k$  Grashofovo kritérium [1],  
 $Pr_{stř,k}$  Prandtlovo kritérium teplotního média [1],  
 $n$  Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria [1],

Součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu trubky kotlového výměníku do akumulčního zásobníku (na vnější straně):

$$\alpha_{2k} = \frac{Nu_{1,vně} \cdot \lambda_{stř,k}}{d_{k2}} \quad (5.34.)$$

$$\alpha_{2k} = \frac{42,62 \cdot 0,6472}{0,028}$$

$$\alpha_{2k} = 985,24 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:	$\alpha_{2k}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$Nu_{1,vně}$	Nusseltovo kritérium teplotního média vně trubky [1],
	$\lambda_{stř,k}$	Součinitel tepelné vodivosti teplotního média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
	$d_{k2}$	Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m].

Součinitel prostupu tepla:

$$k_k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{1k} \cdot d_{k1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{d_{k2}}{d_{k1}} + \frac{1}{\alpha_{2k} \cdot d_{k2}}} \quad (5.35.)$$

$$k_k = \frac{\pi}{\frac{1}{3 \cdot 135,15 \cdot 0,025} + \frac{1}{2 \cdot 385} \cdot \ln \frac{0,028}{0,025} + \frac{1}{985,24 \cdot 0,028}}$$

$$k_k = 63,91 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:	$k_k$	Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\alpha_{1k}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\alpha_{2k}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\lambda_{Cu}$	Součinitel tepelné vodivosti mědi [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],
	$d_{k1}$	Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],
	$d_{k2}$	Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m].

Délka kotlového výměníku:

$$Q_{t1} = k_k \cdot \Delta t_{stř,k} \cdot l_k \quad (5.36.)$$

$$l_k = \frac{Q_{t1}}{k_k \cdot \Delta t_{stř,k}}$$

$$l_k = \frac{16,96 \cdot 10^3}{63,91 \cdot 36,07}$$

$$l_k = 7,36 [m]$$

kde:	$Q_{t1}$	Topný výkon kotlového výměníku [kW],
	$k_k$	Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$\Delta t_{stř,k}$	Střední logaritmičeský teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}C$ ],
	$l_k$	Délka kotlového výměníku [m].

Plocha kotlového výměníku:

$$S_k = \pi \cdot d_{k2} \cdot l_k \quad (5.37.)$$

$$S_k = \pi \cdot 0,028 \cdot 7,36$$

$$S_k = 0,647 [m^2]$$

kde:  $S_k$  Plocha kotlového výměníku [ $m^2$ ],  
 $d_{k2}$  Vnější průměr trubky kotlového výměníku [m],  
 $l_k$  Délka kotlového výměníku [m].

### 5.3. Výpočet výměníku solárního okruhu

Solární výměník je situován ve spodní části akumulčního zásobníku. U výměníku solárního okruhu se mění potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu  $\tau = 3$  [h]. Dále se mění vstupní teplota teplotnosného média do výměníku  $t_2' = 60$  [ $^{\circ}C$ ] a výstupní teplota teplotnosného média z výměníku  $t_2'' = 40$  [ $^{\circ}C$ ]. Také se musí počítat s jinými fyzikální vlastnosti teplotnosného média.

Teplotnosným médiem solárního okruhu je směs vody a monopropylenglykolu v poměru 1:1.

Topný výkon solárního výměníku pro denní ohřev 250 l vody:

$$Q_{t2} = \frac{Q_{pot,SK}}{\tau_2} \quad (5.38.)$$

$$Q_{t2} = \frac{61\,044,75}{3 \cdot 3\,600}$$

$$Q_{t2} = 5,65 [kW]$$

kde:  $Q_{t2}$  Topný výkon solárního výměníku [kW],  
 $Q_{pot,SK}$  Potřebné množství tepla na ohřev vody [ $kJ \cdot den^{-1}$ ],  
 $\tau_2$  Potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu [h].

Hmotnostní průtok teplotnosného média ve výměníku solárního okruhu:

$$Q_{t2} = m_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2' - t_2'') \quad (5.39.)$$

$$m_2 = \frac{Q_{t2}}{c_{p2} \cdot (t_2' - t_2'')}$$

$$m_2 = \frac{5,65}{3,699 \cdot (60 - 40)}$$

$$m_2 = 0,076 [kg \cdot s^{-1}]$$

kde:  $m_2$  Hmotnostní průtok teplotosného média [ $kg \cdot s^{-1}$ ],  
 $Q_{t2}$  Topný výkon solárního výměníku [kW],  
 $c_{p2}$  Měrná tepelná kapacity teplotosného média [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_2'$  Vstupní teplota teplotosného média do výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_2''$  Výstupní teplota teplotosného média z výměníku [ $^{\circ}C$ ].

Střední teplota teplotosného média ve výměníku solárního okruhu:

$$t_{stř,vs} = \frac{t_2' + t_2''}{2} \quad (5.40.)$$

$$t_{stř,vs} = \frac{60 + 40}{2}$$

$$t_{stř,vs} = 50 [^{\circ}C]$$

kde:  $t_{stř,vs}$  Střední teplota teplotosného média v solárním výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_2'$  Vstupní teplota teplotosného média do výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_2''$  Výstupní teplota teplotosného média z výměníku [ $^{\circ}C$ ].

Pomocí tabulek [23], [24] je určena nejbližší teplota pro vypočtenou určovací teplotu, pro kterou platí hustota  $\rho_{stř,vs} = 1\,014,6 [kg \cdot m^{-3}]$ .

Objem průtoku teplotosného média ve výměníku solárního okruhu:

$$V_{sv} = \frac{m_2}{\rho_{stř,v}} \quad (5.41.)$$

$$V_{sv} = \frac{0,076}{1\,014,6}$$

$$V_{sv} = 0,000075 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:  $V_{sv}$  Objem průtoku teplotosného média v solárním výměníku [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ],  
 $m_2$  Hmotnostní průtok teplotosného média [ $kg \cdot s^{-1}$ ],  
 $\rho_{stř,vs}$  Hustota teplotosného média v solárním výměníku [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

Průřez měděné trubky výměníku v solárním okruhu:

$$S_{sv} = \frac{\pi \cdot d_{s1}^2}{4} \quad (5.42.)$$

$$S_{sv} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4}$$

$$S_{sv} = 0,00049 \text{ [m}^2\text{]}$$

kde:  $S_{sv}$  Průřez trubky solárního výměníku [ $\text{m}^2$ ],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m].

Rychlost proudění teplotosného média ve výměníku solárního okruhu:

$$w_{sv} = \frac{V_{sv}}{S_{sv}} \quad (5.43.)$$

$$w_{sv} = \frac{0,000075}{0,00049}$$

$$w_{sv} = 0,153 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

kde:  $w_{sv}$  Rychlost proudění teplotosného média v solárním výměníku [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $V_{sv}$  Objem průtoku teplotosného média v solárním výměníku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $S_{sv}$  Průřez trubky solárního výměníku [ $\text{m}^2$ ].

Určovací střední teplota stěny výměníku v solárním okruhu pro fyzikální vlastnosti teplotosného média:

$$t_{u,stř,s} = \frac{t_{stř,vs} + t_{stř,z}}{2} \quad (5.44.)$$

$$t_{u,stř,s} = \frac{50 + 32,5}{2}$$

$$t_{u,stř,s} = 41,25 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

kde:  $t_{u,stř,s}$  Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotosného média [ $^\circ\text{C}$ ],  
 $t_{stř,vs}$  Střední teplota teplotosného média v solárním výměníku [ $^\circ\text{C}$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^\circ\text{C}$ ].

Pomocí tabulek [23], [24] je určena nejbližší teplota pro vypočtenou určovací teplotu teplotosného média, pro kterou platí:



Kinematická viskozita teplotnosného média:  $\nu_{stř,s} = 1,89545 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

Prandtlovo kritérium teplotnosného média:  $\text{Pr}_{stř,s} = 1,071 [1]$

Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média:  $\lambda_{stř,s} = 38,268 \cdot 10^{-2} [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosného média:  $\gamma_{stř,s} = 2,956 \cdot 10^{-2} [\text{K}^{-1}]$

### **Výpočet přestupu tepla na vnitřní straně trubky solárního výměníku:**

Dle [3] na str. 131 – 134, se jedná o přestup tepla při nuceném proudění tekutiny v trubkách.

Reynoldsovo kritérium teplotnosného média v solárním okruhu:

$$Re_s = \frac{w_{sv} \cdot d_{s1}}{\nu_{stř,s}} \quad (5.45.)$$

$$Re_s = \frac{0,153 \cdot 0,025}{1,89545 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re_s = 2\,023,36 \Rightarrow \text{Laminární proudění}$$

kde:  $Re_s$  Reynoldsovo kritérium teplotnosného média [1],

$w_{sv}$  Rychlost proudění teplotnosného média v solárním výměníku  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ ,

$d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m],

$\nu_{stř,s}$  Kinematická viskozita teplotnosného média  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ .

Protože pro danou kritériální rovnici platí:

$$Re_s \leq 2\,320$$

Jedná se o laminární proudění.

Grashofovo kritérium:

$$Gr_{s1} = \frac{g \cdot d_{s1}^3}{\nu_{stř,s}^2} \cdot \gamma_{stř,s} \cdot (t_{u,stř,s} - t_{stř,z}) \quad (5.46.)$$

$$Gr_{s1} = \frac{9,81 \cdot 0,025^3}{(1,89545 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,956 \cdot 10^{-2} \cdot (41,25 - 32,5)$$

$$Gr_{s1} = 11\,035\,114,68$$

kde:  $Gr_{s1}$  Grashofovo kritérium [1],

$g$  Gravitační zrychlení  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$ ,

$d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],

- $\nu_{stř,s}$  Kinematická viskozita teplotního média [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],  
 $\gamma_{stř,s}$  Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotního média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{u,stř,s}$  Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotního média [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Opravný součinitel pro délku výměníku:

V případě že  $(l_s / d_{s1}) > 50$  což platí ( $l_s > 1,25$ ), pak  $\varepsilon_t = 1$

- kde:  $\varepsilon_t$  Opravný součinitel pro délku výměníku [1],  
 $l_s$  délka trubky výměníku [m],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr solárního výměníku [m].

Nusseltovo kritérium pro laminární nucené proudění:

$$Nu_{2,vni} = 0,74 \cdot (Re_s \cdot Pr_{stř,s})^{0,2} \cdot (Gr_{s1} \cdot Pr_{stř,s})^{0,1} \cdot \varepsilon_L \quad (5.47.)$$

$$Nu_{2,vni} = 0,74 \cdot (2\,023,36 \cdot 1,071)^{0,2} \cdot (11\,035\,114,68 \cdot 1,071)^{0,1} \cdot 1$$

$$Nu_{2,vni} = 17,53$$

- kde:  $Nu_{2,vni}$  Nusseltovo kritérium teplotního média uvnitř trubky [1],  
 $Re_s$  Reynoldsovo kritérium teplotního média [1],  
 $Pr_{stř,s}$  Prandtlovo kritérium teplotního média [1],  
 $Gr_{s1}$  Grashofovo kritérium [1],  
 $\varepsilon_t$  Opravný součinitel pro délku výměníku [1].

Součinitel přestupu tepla z teplotního média na vnitřní povrch trubky solárního výměníku (na vnitřní straně):

$$Nu_{2,vni} = \frac{\alpha_{1s} \cdot d_{s1}}{\lambda_{stř,s}} \quad (5.48.)$$

$$\alpha_{1s} = \frac{Nu_{2,vni} \cdot \lambda_{stř,s}}{d_{s1}}$$

$$\alpha_{1s} = \frac{17,53 \cdot 0,38268}{0,025}$$

$$\alpha_{1s} = 268,26 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

- kde:  $\alpha_{1s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$Nu_{2,vni}$	Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],
$\lambda_{stř,s}$	Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$d_{s1}$	Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m].

### **Výpočet přestupu tepla na vnější straně trubky solárního výměníku:**

Dle [3] na str. 131 – 134, se jedná o přestup tepla při volném proudění tekutiny. Zde můžeme uvažovat o volné konvekci v neomezeném prostoru.

Grashofovo kritérium:

$$Gr_{s2} = \frac{g \cdot d_{s2}}{\nu_{stř,s}} \cdot \gamma_{stř,s} \cdot (t_{u,stř,s} - t_{stř,z}) \quad (5.49.)$$

$$Gr_{s2} = \frac{9,81 \cdot 0,028^3}{(1,89545 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,956 \cdot 10^{-2} (41,25 - 32,5)$$

$$Gr_{s2} = 15\,503\,541,60$$

kde:	$Gr_{s2}$	Grashofovo kritérium [1],
	$g$	Gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ],
	$d_{s2}$	Vnější průměr trubky solárního výměníku [m],
	$\nu_{stř,s}$	Kinematická viskozita teplotnosného média [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],
	$\gamma_{stř,s}$	Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],
	$t_{u,stř,s}$	Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotnosného média [ $^{\circ}C$ ],
	$t_{stř,z}$	Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Dle [3] na str. 132, hodnoty konstant  $c$  a  $n$ , závisí na součinu Grashofova a Prandtlova kritéria:

$$\begin{aligned} Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} &< 1 \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots c = 0,45; n = 0 \\ 1 \cdot 10^{-3} &< Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} < 5 \cdot 10^2 \dots\dots\dots c = 1,18; n = 0,125 \\ 5 \cdot 10^2 &< Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} < 2 \cdot 10^7 \dots\dots\dots c = 0,54; n = 0,25 \\ 2 \cdot 10^7 &< Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} \dots\dots\dots c = 0,135; n = 0,333 \end{aligned}$$

$$Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} = 15\,503\,541,60 \cdot 1,071 = 16\,604\,293,05 \quad (5.50.)$$

$$\begin{aligned} \text{Jelikož:} \quad 5 \cdot 10^2 &< Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s} < 2 \cdot 10^7 \\ 5 \cdot 10^2 &< 16\,604\,293,05 < 2 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

Volím konstanty:  $c = 0,54$ ;  $n = 0,25$

Nusseltovo kritérium pro volné proudění:

$$Nu_{2,vně} = c \cdot (Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s})^n \quad (5.51.)$$

$$Nu_{2,vně} = 0,54 \cdot (15\,503\,541,60 \cdot 1,071)^{0,25}$$

$$Nu_{2,vně} = 34,47$$

kde:	$Nu_{2,vně}$	Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky [1],
	$c$	Konstanta záviselící na součinu Grashofova a Prandtllova kritéria [1],
	$Gr_{s2}$	Grashofovo kritérium [1],
	$Pr_{stř,s}$	Prandtllovo kritérium teplotnosného média [1],
	$n$	Konstanta záviselící na součinu Grashofova a Prandtllova kritéria [1].

Součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu trubky solárního výměníku do akumulárního zásobníku (na vnější straně):

$$Nu_{2,vně} = \frac{\alpha_{2s} \cdot d_{s2}}{\lambda_{stř,s}} \quad (5.52.)$$

$$\alpha_{2s} = \frac{Nu_{2,vně} \cdot \lambda_{stř,s}}{d_{s2}}$$

$$\alpha_{2s} = \frac{34,47 \cdot 0,38268}{0,028}$$

$$\alpha_{2s} = 471,11 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:	$\alpha_{2s}$	Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],
	$Nu_{2,vně}$	Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky [1],
	$\lambda_{stř,s}$	Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
	$d_{s2}$	Vnější průměr trubky solárního výměníku [m].

### **Výpočet rozměrů výměníku solárního okruhu:**

Součinitel prostupu tepla:

$$k_s = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{1s} \cdot d_{s1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{cu}} \cdot \ln \frac{d_{s2}}{d_{s1}} + \frac{1}{\alpha_{2s} \cdot d_{s2}}} \quad (5.53.)$$

$$k_s = \frac{\pi}{\frac{1}{268,26 \cdot 0,028} + \frac{1}{2 \cdot 385 \cdot \ln \frac{0,028}{0,025}} + \frac{1}{471,11 \cdot 0,028}}$$

$$k_s = 13,96 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

- kde:  $k_s$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\alpha_{1s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\alpha_{2s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\lambda_{Cu}$  Součinitel tepelné vodivosti mědi [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m].

Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud:

$$\Delta t_{stř,k} = \frac{(t_2' - t_{TV}) - (t_2'' - t_{SV})}{\ln \frac{(t_2' - t_{TV})}{(t_2'' - t_{SV})}} \quad (5.54.)$$

$$\Delta t_{stř,k} = \frac{(60 - 55) - (40 - 10)}{\ln \frac{(60 - 55)}{(40 - 10)}}$$

$$\Delta t_{stř,k} = 13,95 [^{\circ}C]$$

- kde:  $\Delta t_{stř,s}$  Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_2'$  Vstupní teplota teplotnosného média do výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_2''$  Výstupní teplota teplotnosného média z výměníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{TV}$  Požadovaná teplota teplé vody [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{SV}$  Teplota studené vody z vodovodu [ $^{\circ}C$ ].

Délka solárního výměníku:

$$Q_{t2} = k_s \cdot \Delta t_{stř,s} \cdot l_s \quad (5.55.)$$

$$l_s = \frac{Q_{t2}}{k_s \cdot \Delta t_{stř,s}}$$

$$l_s = \frac{5,65 \cdot 10^3}{13,96 \cdot 13,95}$$

$$l_s = 29,02 [m]$$

- kde:  $Q_{t2}$  Topný výkon solárního výměníku [kW],  
 $k_s$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],

$\Delta t_{stř,s}$  Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $l_s$  Délka solárního výměníku [m].

Plocha solárního výměníku:

$$S_s = \pi \cdot d_{s2} \cdot l_s \quad (5.56.)$$

$$S_s = \pi \cdot 0,028 \cdot 29,02$$

$$S_s = 2,553 \text{ [m}^2\text{]}$$

kde:  $S_s$  Plocha solárního výměníku [ $\text{m}^2$ ],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m],  
 $l_s$  Délka solárního výměníku [m].

### **Zpřesnění výpočtu:**

Teplota sdělená 1 m válcové stěny:

$$q_s = k_s \cdot (t_{stř,vs} - t_{stř,z}) \quad (5.57.)$$

$$q_s = 13,96 \cdot (50 - 32,50)$$

$$q_s = 244,28 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1}\text{]}$$

kde:  $q_s$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $k_s$  Součinitel prostupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $t_{stř,vs}$  Střední teplota teplotnosného média v solárním výměníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média:

$$t_{s_1} = t_{stř,vs} - \frac{q_s}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{1s} \cdot d_{s1}} \quad (5.58.)$$

$$t_{s_1} = 50 - \frac{244,28}{\pi} \cdot \frac{1}{268,26 \cdot 0,025}$$

$$t_{s_1} = 38,41 \text{ [}^{\circ}\text{C}\text{]}$$

kde:  $t_{s_1}$  Povrchová teplota stěny na straně teplotnosného média [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{stř,vs}$  Střední teplota teplotnosného média v solárním výměníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $q_s$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $\alpha_{1s}$  Součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m].

Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku:

$$t_{s_2} = t_{stř,z} + \frac{q_s}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{2s} \cdot d_{s2}} \quad (5.59.)$$

$$t_{s_2} = 32,5 + \frac{244,28}{\pi} \cdot \frac{1}{471,11 \cdot 0,028}$$

$$t_{s_2} = 38,39 [^{\circ}\text{C}]$$

kde:  $t_{s_2}$  Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $q_s$  Tepelný tok 1 m trubky výměníku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $\alpha_{2s}$  Součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m].

Z vypočtených teplot stěn, určím z tabulek pro nejbližší teplotu zpřesněné hodnoty Prandtlůva kritéria:

$$t_{s_1} = 38,41 [^{\circ}\text{C}] \dots \dots \dots \text{Pr}_{s1} = 1,179$$

$$t_{s_2} = 38,39 [^{\circ}\text{C}] \dots \dots \dots \text{Pr}_{s2} = 4,31$$

Nyní použijeme znovu výpočty od rovnice (5.46.):

Grashofovo kritérium (na vnitřní straně):

$$Gr_{s1} = \frac{g \cdot d_{s1}^3}{\nu_{stř,s}^2} \cdot \gamma_{stř,s} \cdot (t_{s_1} - t_{stř,z}) \quad (5.60.)$$

$$Gr_{s1} = \frac{9,81 \cdot 0,025^3}{(1,89545 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,956 \cdot 10^{-2} \cdot (38,41 - 32,5)$$

$$Gr_{s1} = 7\,448\,321,58$$

kde:  $Gr_{s1}$  Grashofovo kritérium [1],  
 $g$  Gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky kotlového výměníku [m],  
 $\nu_{stř,s}$  Kinematická viskozita teplotního média [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $\gamma_{stř,s}$  Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotního média [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  
 $t_{s_1}$  Určovací střední teplota stěny pro fyzikální vlastnosti teplotního média [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Nusseltovo kritérium pro laminární nucené proudění (na vnitřní straně):

$$Nu_{2,vni} = 0,74 \cdot (Re_s \cdot Pr_{stř,s})^{0,2} \cdot (Gr_{s1} \cdot Pr_{stř,s})^{0,1} \cdot \varepsilon_L \quad (5.61.)$$

$$Nu_{2,vni} = 0,74 \cdot (2\,023,36 \cdot 1,071)^{0,2} \cdot (7\,448\,321,58 \cdot 1,179)^{0,1} \cdot 1$$

$$Nu_{2,vni} = 16,85$$

kde:  $Nu_{2,vni}$  Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],  
 $Re_s$  Reynoldsovo kritérium teplotnosného média [1],  
 $Pr_{stř,s}$  Prandtlovo kritérium teplotnosného média [1],  
 $Gr_{s1}$  Grashofovo kritérium [1],  
 $\varepsilon_t$  Opravný součinitel pro délku výměníku [1].

Součinitel přestupu tepla z teplotnosného média na vnitřní povrch trubky solárního výměníku (na vnitřní straně):

$$Nu_{2,vni} = \frac{\alpha_{1s} \cdot d_{s1}}{\lambda_{stř,s}} \quad (5.62.)$$

$$\alpha_{1s} = \frac{Nu_{2,vni} \cdot \lambda_{stř,s}}{d_{s1}}$$

$$\alpha_{1s} = \frac{16,85 \cdot 0,38268}{0,025}$$

$$\alpha_{1s} = 257,92 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:  $\alpha_{1s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $Nu_{2,vni}$  Nusseltovo kritérium teplotnosného média uvnitř trubky [1],  
 $\lambda_{stř,s}$  Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m].

Grashofovo kritérium (na vnější straně):

$$Gr_{s2} = \frac{g \cdot d_{s2}^3}{\nu_{stř,s}^2} \cdot \gamma_{stř,s} \cdot (t_{s,2} - t_{stř,z}) \quad (5.63.)$$

$$Gr_{s2} = \frac{9,81 \cdot 0,028^3}{(1,89545 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,956 \cdot 10^{-2} \cdot (38,39 - 32,5)$$

$$Gr_{s2} = 10\,444\,079$$

kde:  $Gr_{s2}$  Grashofovo kritérium [1],  
 $g$  Gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ],



- $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m],  
 $\nu_{stř,s}$  Kinematická viskozita teplotnosného média [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],  
 $\gamma_{stř,s}$  Součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $t_{s,2}$  Povrchová teplota stěny na straně vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ],  
 $t_{stř,z}$  Střední teplota vody v zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Konstanty  $c$  a  $n$ , závisí na součinu Grashofova a Prandtlůva kritéria a v tomto případě zůstávají na stejné hodnotě.

Nusseltovo kritérium pro volné proudění (na vnější straně):

$$Nu_{2,vně} = c \cdot (Gr_{s2} \cdot Pr_{stř,s})^n \quad (5.64.)$$

$$Nu_{2,vně} = 0,54 \cdot (10\,444\,079 \cdot 1,071)^{0,25}$$

$$Nu_{2,vně} = 31,23$$

- kde:  $Nu_{2,vně}$  Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky [1],  
 $c$  Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlůva kritéria [1],  
 $Gr_{s2}$  Grashofovo kritérium [1],  
 $Pr_{stř,s}$  Prandtlůvo kritérium teplotnosného média [1],  
 $n$  Konstanta závisící na součinu Grashofova a Prandtlůva kritéria [1].

Součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu trubky solárního výměníku do akumulčního zásobníku (na vnější straně):

$$Nu_{2,vně} = \frac{\alpha_{2s} \cdot d_{s2}}{\lambda_{stř,s}} \quad (5.65.)$$

$$\alpha_{2s} = \frac{Nu_{2,vně} \cdot \lambda_{stř,s}}{d_{s2}}$$

$$\alpha_{2s} = \frac{31,23 \cdot 38,268 \cdot 10^{-2}}{0,028}$$

$$\alpha_{2s} = 426,81 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

- kde:  $\alpha_{2s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $Nu_{2,vně}$  Nusseltovo kritérium teplotnosného média vně trubky [1],  
 $\lambda_{stř,s}$  Součinitel tepelné vodivosti teplotnosného média [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m].

Součinitel prostupu tepla:

$$k_s = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{1s} \cdot d_{s1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{d_{s2}}{d_{s1}} + \frac{1}{\alpha_{2s} \cdot d_{s2}}} \quad (5.66.)$$

$$k_s = \frac{\pi}{\frac{1}{257,92 \cdot 0,025} + \frac{1}{2 \cdot 385} \cdot \ln \frac{0,028}{0,025} + \frac{1}{426,81 \cdot 0,028}}$$

$$k_s = 13,15 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

- kde:  $k_s$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\alpha_{1s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\alpha_{2s}$  Součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\lambda_{Cu}$  Součinitel tepelné vodivosti mědi [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  
 $d_{s1}$  Vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m].

Délka solárního výměníku:

$$Q_{t2} = k_s \cdot \Delta t_{stř,s} \cdot l_s \quad (5.67.)$$

$$l_s = \frac{Q_{t2}}{k_s \cdot \Delta t_{stř,s}}$$

$$l_s = \frac{5,65 \cdot 10^3}{13,15 \cdot 13,95}$$

$$l_s = 30,81 [m]$$

- kde:  $Q_{t2}$  Topný výkon solárního výměníku [kW],  
 $k_s$  Součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ],  
 $\Delta t_{stř,s}$  Střední logaritmický teplotní rozdíl teplot pro protiproud [ $^{\circ}C$ ],  
 $l_s$  Délka solárního výměníku [m].

Plocha solárního výměníku:

$$S_s = \pi \cdot d_{s2} \cdot l_s \quad (5.68.)$$

$$S_s = \pi \cdot 0,028 \cdot 30,81$$

$$S_s = 2,710 [m^2]$$

- kde:  $S_s$  Plocha solárního výměníku [ $m^2$ ],  
 $d_{s2}$  Vnější průměr trubky solárního výměníku [m],

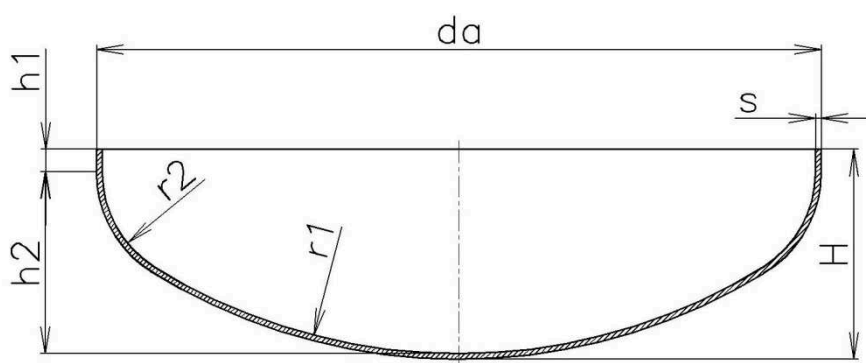
$l_s$  Délka solárního výměníku [m].

#### 5.4. Návrh pláště akumulčního zásobníku

Hlavním požadavkem na konstrukci akumulčního zásobníku byl objem, který měl pokrýt přibližně 2,5 denní potřebu TV pro danou domácnost. Průměr zásobníku bez izolace musí být do 700 mm z důvodu průchodu zárubněmi v domě.

Na konstrukci akumulčního zásobníku použiji dvě klenuté dna firmy „ZYKSAL“ [25] a podélně svařenou trubku slovenské firmy „Železiarne Podbrezová a.s.“ [26]. Klenutá dna i trubka jsou z materiálu P265GH (1.0425), jenž je určen pro tlakové i kotlové potrubí se zvýšenou teplotou.

Klenuté dna [25] jsou vyrobeny podle normy DIN 28013, kde ( $r_1 = 0,8 \cdot d_a$ ;  $r_2 = 0,154 \cdot d_a$ ;  $h_1 \geq 3 \cdot s$ ;  $h_2 = 0,255 \cdot d_a - 0,635 \cdot s$ ).



Obr. 2. Klenuté dno dle DIN 28013 [25]

Průměr akumulčního zásobníku volím 660 mm, podle průměru vyráběných klenutých dnů a trubky od výrobců zmíněných výše. Detailnější parametry těchto konstrukčních součástí jsou:

Klenuté dna od firmy ZYKSAL:

- Materiál P265GH (1.0425),
- Vnější průměr  $d_a = 660$  mm,
- Vnitřní průměr  $d = 650$  mm,
- Tloušťka stěny  $s = 5$  mm,
- Rádus  $r_1 = 528$  mm,
- Rádus  $r_2 = 102$  mm,

- Výška  $h_1 = 20 \text{ mm}$ ,
- Výška  $h_2 = 165 \text{ mm}$ ,
- Výška dna  $H = 190 \text{ mm}$ .

Trubka od Železiarne Podbrezová a.s.:

- Materiál P265GH (1.0425),
- Vnější průměr  $d_a = 630 \text{ mm}$ ,
- Tloušťka stěny  $s = 5 \text{ mm}$ .

Objem akumulčního zásobníku pro 2,5 denní potřebu TV:

$$V_z = V_{TV,d} \cdot 2,5 \quad (5.69.)$$

$$V_z = 250 \cdot 2,5$$

$$V_z = 625 \text{ [l]} = 0,625 \text{ [m}^3\text{]}$$

kde:  $V_z$  Objem zásobníku pro cca 2,5 denní potřebu TV [ $\text{m}^3$ ],  
 $V_{TV,d}$  Celková potřeba teplé vody na den [ $\text{l} \cdot \text{den}^{-1}$ ], viz. rovnice (4.1.).

Vypočtený objem  $V_z = 0,625 \text{ [m}^3\text{]}$  je celkový vnitřní objem akumulčního zásobníku. Jelikož tímto výpočtem byl myšlený přibližný objem 2,5 denní potřeby teplé vody a není stanoven přesný objem vody v zásobníku. Nebudu proto tento objem navyšovat o další objemy vnitřních komponent (solární výměník, kotlový výměník, anoda, čidla apod.).

Objem vnitřní válcové části klenutého dna:

$$V_{vál} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_1}{4} \quad (5.70.)$$

$$V_{vál} = \frac{\pi \cdot 0,650^2 \cdot 0,02}{4}$$

$$V_{vál} = 0,0066 \text{ [m}^3\text{]}$$

kde:  $V_{vál}$  Objem válcové části klenutého dna [ $\text{m}^3$ ],  
 $d$  Vnitřní průměr klenutého dna [ $\text{m}$ ],  
 $h_1$  Výška válcové části klenutého dna [ $\text{m}$ ].

Objem kulového vrchlíku klenutého dna:

$$V_{vrch} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h_2 \cdot \left[ \left( 3 \cdot \frac{d^2}{4} \right) + h_2^2 \right] \quad (5.71.)$$

$$V_{vrch} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,165 \cdot \left[ \left( 3 \cdot \frac{0,650^2}{4} \right) + 0,165^2 \right]$$

$$V_{vrch} = 0,03 \text{ [m}^3\text{]}$$

kde:  $V_{vrch}$  Objem kulového vrchlíku klenutého dna [m<sup>3</sup>],  
 $d$  Vnitřní průměr klenutého dna [m],  
 $h_2$  Výška vnitřního kulového vrchlíku klenutého dna [m].

Stanovení potřebného objemu trubky pro zásobník:

$$V_{trub} = [V_z - (2 \cdot V_{vál})] - (2 \cdot V_{vrch}) \quad (5.72.)$$

$$V_{trub} = [0,625 - (2 \cdot 0,0066)] - (2 \cdot 0,03)$$

$$V_{trub} = 0,5523 \text{ [m}^3\text{]}$$

kde:  $V_{trub}$  Objem trubky zásobníku [m<sup>3</sup>],  
 $V_z$  Objem zásobníku pro cca 2,5 denní potřebu TV [m<sup>3</sup>],  
 $V_{vál}$  Objem válcové části klenutého dna [m<sup>3</sup>],  
 $V_{vrch}$  Objem kulového vrchlíku klenutého dna [m<sup>3</sup>].

Délka trubky zásobníku:

$$l_{trub} = \frac{V_{trub} \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \quad (5.73.)$$

$$l_{trub} = \frac{0,5523 \cdot 4}{\pi \cdot 0,650^2}$$

$$l_{trub} = 1,66 \text{ [m]} = 1\,660 \text{ [mm]}$$

kde:  $l_{trub}$  Délka trubky zásobníku [m],  
 $V_{trub}$  Objem trubky zásobníku [m<sup>3</sup>].

Vnitřní výška akumulčního zásobníku:

$$h_{vni} = l_{trub} + 2 \cdot (h_1 + h_2) \quad (5.74.)$$

$$h_{vni} = 1,66 + 2 \cdot (0,02 + 0,165)$$

$$h_{vni} = 2,03 [m] = 2\,030 [mm]$$

kde:  $h_{vni}$  Vnitřní výška akumulčního zásobníku [m],  
 $l_{trub}$  Délka trubky zásobníku [m],  
 $h_1$  Výška válcové části klenutého dna [m],  
 $h_2$  Výška vnitřního kulového vrchlíku klenutého dna [m].

Vnější výška akumulčního zásobníku:

$$h_{vně} = l_{trub} + 2 \cdot H \quad (5.73.)$$

$$h_{vně} = 1,66 + 2 \cdot 0,19$$

$$h_{vně} = 2,04 [m] = 2\,040 [mm]$$

kde:  $h_{vně}$  Vnější výška akumulčního zásobníku [m],  
 $l_{trub}$  Délka trubky zásobníku [m],  
 $H$  Celková výška klenutého dna [m].

## 6. Environmentální zhodnocení

Environmentální přínos znamená snížení produkce znečišťujících látek a to především z fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Při stanovování množství znečišťujících látek jsou využity hodnoty emisních faktorů pro spalování zemního plynu (Tab. 6.1.). Tyto emisní faktory jsou převzaty dle [38].

Tab. 6.1. Hodnoty emisních faktorů [38]

	Emise	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Organické látky	CO <sub>2</sub>
Druh paliva	Výkon kotle	kg/10 <sup>6</sup> ·m <sup>3</sup> spálen. plynu	kg/10 <sup>6</sup> ·m <sup>3</sup> spálen. plynu	kg/10 <sup>6</sup> ·m <sup>3</sup> spálen. plynu	kg/10 <sup>6</sup> ·m <sup>3</sup> spálen. plynu	kg/10 <sup>6</sup> ·m <sup>3</sup> spálen. plynu	t·MWh <sup>-1</sup> výhřevnosti
Zemní plyn	≤ 0,2 MW	20	9,6	1 600	320	64	0,2

Spotřeba zemního plynu za rok na přípravu TV a vytápění před instalací solárního systému:

$$m_{pal} = \frac{Q_{TV+VYT}}{Q_i \cdot \eta_{kotle}} \quad (6.1.)$$

$$m_{pal} = \frac{55\,375,66}{9,3 \cdot 0,89}$$

$$m_{pal} = 6\,690,31 [m^3 \cdot rok^{-1}]$$

kde:  $m_{pal}$  Spotřeba zemního plynu za rok na přípravu TV a vytápění  $[m^3 \cdot rok^{-1}]$ ,  
 $Q_{TV+VYT}$  Potřeba tepla na TV a vytápění  $[kWh \cdot rok^{-1}]$ ,  
 $Q_i$  Výhřevnost  $[kWh \cdot m^{-3}]$  dle [40],  
 $\eta_{kotle}$  Účinnost kotle [1], určeno dle [39].

Tab. 6.2. Vypočtené a určené potřebné veličiny zemního plynu před instalací solárního systému

Druh paliva	Výhřevnost	Výhřevnost	Potřeba tepla na TV a vytápění	Účinnost kotle	Spotřeba paliva
	$Q_i$	$Q_i$	$Q_{TV+VYT}$	$\eta_{kotle}$	$m_{pal}$
	$[MJ \cdot m^{-3}]$	$[kWh \cdot m^{-3}]$	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	[1]	$[m^3 \cdot rok^{-1}]$
Zemní plyn	33,48	9,3	55 375,66	0,89	6 690,31

Na ukázkou uvedu dva výpočty na výpočet emise TL a CO<sub>2</sub>:

Roční emise tuhých látek (stejný výpočet i u SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Organické látky):

$$E_{TL} = EF_{TL} \cdot m_{pal} \quad (6.2.)$$

$$E_{TL} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 6\,690,31$$

$$E_{TL} = 0,134 [kg \cdot rok^{-1}]$$

kde:  $E_{TL}$  Emise tuhých látek  $[kg \cdot rok^{-1}]$ ,  
 $EF_{TL}$  Emisní faktor tuhých látek  $[kg/10^6 \cdot m^3 \text{ spáleného plynu}]$ ,  
 $m_{pal}$  Spotřeba zemního plynu za rok na přípravu TV a vytápění  $[m^3 \cdot rok^{-1}]$ .

Roční emise CO<sub>2</sub>:

$$E_{CO2} = EF_{CO2} \cdot \frac{Q_{TV+VYT}}{\eta_{kotle}} \quad (6.3.)$$

$$E_{CO2} = 0,2 \cdot \frac{55\,375,66}{0,89}$$

$$E_{\text{CO}_2} = 12\,444 \left[ \text{kg} \cdot \text{rok}^{-1} \right]$$

kde:  $E_{\text{CO}_2}$  Emise  $\text{CO}_2$  [ $\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $EF_{\text{CO}_2}$  Emisní faktor  $\text{CO}_2$  [ $\text{t} \cdot \text{MWh}^{-1}$  výhřevnosti],  
 $Q_{\text{TV+VYT}}$  Potřeba tepla na TV a vytápění [ $\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $\eta_{\text{kotle}}$  Účinnost kotle [1].

Tab. 6.3. Emise před instalací solárního systému

Emise	Tuhé látky	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_x$	CO	Organické látky	$\text{CO}_2$	Emisi celkem
Druh paliva	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$
Zemní plyn	0,134	0,064	10,704	2,141	0,428	12 444	12 457,441

Stanovení emisí po instalaci solárního systému bude stejné jako v předcházejícím případě. Pouze potřeba tepla na přípravu TV a vytápění klesne díky skutečnému celkovému ročnímu zisku energie ze solárního systému ( $5\,101,3 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) na  $50\,222,80 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Proto klesne i spotřeba zemního plynu na  $6\,067,75 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ . V tab. 6.4 jsou stanovené emise po instalaci solárního systému.

Tab. 6.4. Emise po instalaci solárního systému

Emise	Tuhé látky	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_x$	CO	Organické látky	$\text{CO}_2$	Emisi celkem
Druh paliva	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$
Zemní plyn	0,121	0,058	9,708	1,942	0,388	11 286	11 298,241



## 7. Ekonomické zhodnocení

Ke stanovení ekonomického přínosu solárního systému bylo nutné určit skutečný celkový roční zisk energie solárního systému na přípravu TV. Díky tomu je možné stanovit ekonomický přínos solárního systému. To je úspora tepla na přípravu TV a vytápění. Při stanovování prosté návratnosti investic, neuvažují s žádnými dotacemi.

Roční ekonomický přínos solárního systému:

$$R_{EP} = \frac{cp \cdot Zisk_{TV\_rok\_skut.}}{Q_i \cdot \eta_{kotle}} \quad (7.1.)$$

$$R_{EP} = \frac{16,01 \cdot 5\,101,3}{9,3 \cdot 0,89}$$

$$R_{EP} = 9\,867 \text{ [Kč} \cdot \text{rok}^{-1}\text{]}$$

kde:  $R_{EP}$  Roční ekonomický přínos solárního systému [ $\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $cp$  Měrná cena paliva [ $\text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ ] dle [40] k 1. 1. 2012,  
 $Zisk_{TV\_rok\_skut.}$  Skutečný celkový roční zisk energie solárního systému [ $\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $Q_i$  Výhřevnost [ $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ] dle [40],  
 $\eta_{kotle}$  Účinnost kotle [1], určeno dle [39].

Prostá doba návratnosti investice:

$$DN = \frac{CIN}{R_{EP}} \quad (7.2.)$$

$$DN = \frac{264\,806,7}{9\,867}$$

$$DN = 27 \text{ [let]}$$

kde:  $DN$  Prostá doba návratnosti investice [let],  
 $CIN$  Celkové investiční náklady [Kč],  
 $R_{EP}$  Roční ekonomický přínos solárního systému [ $\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$ ].

Jednotlivé položky pro celkové investiční náklady (CIN) jsou uvedeny v příloze F.

## 8. Závěr

V diplomové práci jsem provedl návrh vhodného systému přípravy teplé vody a přitápění pro celoročně obydlený rodinný dům s konstrukčním návrhem akumulčního zásobníku.

Před návrhem solárního systému bylo provedeno stanovení tepelně izolačních vlastností rodinného domu. Celková výpočtová tepelná ztráta domu je 22 660 W. Vzhledem k tomu, že dům neprošel žádnou revitalizací, která by se zabývala zamezením úniku tepla, bylo by možné tyto ztráty ještě snížit. To ale vyžaduje nákladnou investici. Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena na 5 950 kWh·rok<sup>-1</sup> a potřeba tepla na vytápění na 49 426 kWh·rok<sup>-1</sup>.

Navrhnutý solární systém pokryje ze 100 % potřebu tepla na přípravu teplé vody v měsících březen až říjen. Vzniklé nevyužité nadbytky se v přechodných měsících březen, duben, září a říjen využijí k podpoře přitápění. Z důvodu nižších investičních nákladů jsem pro zachytávání sluneční energie stanovil 7 ks plochých slunečních kolektorů. Využití nadbytku energie v teplém letním období v měsících květen až srpen není v této práci řešeno. Tato energie by se mohla využít k ohřevu bazénu, ale jeho výstavba by znamenala další investiční zatížení.

Navrhnutý akumulční zásobník je navržen na objem 600 l a pro přípravu TUV v množství 250 l·den<sup>-1</sup> při teplotě 55°C. Šířku zásobníku jsem volil 660 mm bez izolace, z důvodu průchodu zárubněmi na požadované místo.

Celkové investiční náklady na instalaci solárního systému byly stanoveny na 264 806,7 Kč. Při využití tohoto systému dojde k roční úspoře 9 867 Kč oproti stávajícímu řešení. Prosta doba návratnosti vložených investic je tedy 27 let.

## 9. Seznam použitých zdrojů

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy 1, sešit projektanta – pracovní podklady*. Praha: STP, 2009. 194 s., ISBN 978-80-02-02186-5.
- [2] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. 103 s., ISBN 80-900759-5-9.
- [3] BLAHOŽ, Vladimír; LAPČÍK, Vladimír. *Návody do cvičení z termomechaniky*. Ostrava: VŠB – TU, 1989. 224 s.
- [4] KAMINSKÝ, Jaroslav; VRTEK, Mojmir. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s., ISBN 80-7078-445-8
- [5] KADLEC, Zdeněk. *Sdílení tepla – návody do cvičení (Sylabus)*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. 79 s.
- [6] BLAHOŽ, Vladimír; KADLEC, Zdeněk. *Základy sdílení tepla*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2000. 111 s., ISBN 80-902001-1-7
- [7] LADENER, Heinz; SPÄTE, Frank. *Solární zařízení*. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 268 s., ISBN 80-247-0362-9
- [8] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení*. Brno: ERA group spol. s.r.o., 2007. 315 s., ISBN 978-80-736-110-6
- [9] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 28 s.
- [10] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Navrhované hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 96 s.
- [11] BYRTUS, Martin. *Diplomová práce – Fototermální systém pro rodinný dům*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2004. 59 s.
- [12] RICHTÁR, Pavel. *Diplomová práce – Návrh solárního systému a akumulčního zásobníku*. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011. 78 s.
- [13] KRAMOLIŠ, Petr; VRTEK, Mojmir. *Tabulky pro stanovení hydraulické ztráty třením v kruhovém potrubí a hydraulické ztráty místními odpory při proudění*

- teplonosné kapaliny Solaren*. Praha: Technické vydavatelství Praha, spol. s.r.o., 2004. 59 s., ISBN 80-903261-1-0
- [14] SMOLÍK, Jan. *Technika prostředí*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 320 s.
- [15] HALLER, Andreas; HUMM, Othmar. VOSS, Karsten. *Solární energie – Využití při obnově budov*. Praha: Grada Publishing, spol s.r.o., 2001. 177 s. ISBN 80-7169-580-7
- [16] ČSN EN 12056-4. Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 4: Čerpací stanice odpadních vod – Navrhování a výpočet. Praha: Český normalizační institut, 2005. 24 s.
- [17] HUMM, Othmar. *Nízkoenergetické domy*. Praha: Grada, 1999. 353 s. ISBN 80-7169-657-9
- [18] MURTINGER, Karel; TRUXA, Jan. *Solární energie pro váš dům*. Brno: Computer Press, a.s., 2010. 108 s. ISBN 978-80-251-3241-8
- [19] Oficiální stránky obce Krmelín [online]. [cit. 2012-03-30]. Dostupný z [www: http://www.krmelin.cz/](http://www.krmelin.cz/)
- [20] Regulus spol. s.r.o. [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupný z [www: http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-vanovy-kph1-alp](http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-vanovy-kph1-alp)
- [21] Topení Kořínek [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupný z [www: http://www.topeni-korinek.cz/solarni-systemy/solarni-kolektory-deskove/896-regulus-kpw1-c20ar-kolektor-solarni-deskovy-se-solarnim-antireflexnim-sklem-a-a-absorberem-s-povrchem-eta-plus.htm](http://www.topeni-korinek.cz/solarni-systemy/solarni-kolektory-deskove/896-regulus-kpw1-c20ar-kolektor-solarni-deskovy-se-solarnim-antireflexnim-sklem-a-a-absorberem-s-povrchem-eta-plus.htm)
- [22] Materiál Cermet [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupný z [www: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical\\_guide/materials/cutting\\_tool\\_materials/cermet/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx)
- [23] RÁŽ, J.V. *Fyzikální vlastnosti nemrznoucích směsí a navrhování soustav*. TZB-info [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupný z [www: http://vytapieni.tzb-info.cz/6899-fyzikalni-vlastnosti-nemrznoucich-smesi-a-navrhovani-soustav](http://vytapieni.tzb-info.cz/6899-fyzikalni-vlastnosti-nemrznoucich-smesi-a-navrhovani-soustav)

- [24] MATUŠKA, Tomáš. *Teplonosná kapalina*. TZB-info [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupný z www: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/teplonosna-kapalina>
- [25] Firma ZYKSAL [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupný z www: <http://www.zyksal.cz/mapa.html>
- [26] Železiarne Podbrezová a.s. [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupný z www: [http://www.zptrade.cz/zptrade/zptrade.nsf/page/Zelezarne\\_Podbrezova\\_a\\_s](http://www.zptrade.cz/zptrade/zptrade.nsf/page/Zelezarne_Podbrezova_a_s)
- [27] Hestia-Encyklopedie 2008. *Výměna vzduchu (větrání)*. [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupný z www: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/5.htm>
- [28] Hestia-Encyklopedie 2008. *Budova a její vlastnosti* [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupný z www: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/3.htm>
- [29] LABOUTKA, Karel; SUCHÁNEK, Tomáš. *Výpočtové tabulky pro vytápění 9*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-2]. Dostupný z www: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [30] KNOB, Josef. *Častý omyl při určování součinitele prostupu tepla ochlazovaných dveří*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-2]. Dostupný z www: <http://www.tzb-info.cz/5295-casty-omyl-pri-urcovani-soucinitele-prostupu-tepla-ochlazovanych-dveri>
- [31] REINBERK, Zdeněk. *Přibližný výpočet tlakové ztráty třením v potrubí*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-5]. Dostupný z www: [http://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000087\\_help.html#d](http://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000087_help.html#d)
- [32] České vysoké učení technické. *Hydraulika potrubí*. Fakulta stavební. Katedra hydrauliky a hydrologie [online]. [cit. 2012-05-6]. Dostupný z www: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/pr ednasky/HY2V\\_04\\_Hydraulika\\_potrubi.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/pr ednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubi.pdf)
- [33] Tabulky a výpočty. *Hodnoty součinitelů místních ztrát – zdroje tepla a základní tvarovky potrubí*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupný z www: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubi>

- [34] KSB – PUMPY + ARMATURY s.r.o., koncern. *Pokyny k projektování: Přečerpávání odpadních vod*. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupný z www: [http://www.ksb.com/ksb/web/CZ/cs/company/products/05\\_building/6\\_documentation/HTPprecerpavani/HTPprecerpavani\\_DObject.property=file.pdf](http://www.ksb.com/ksb/web/CZ/cs/company/products/05_building/6_documentation/HTPprecerpavani/HTPprecerpavani_DObject.property=file.pdf)
- [35] VRÁNA, Jakub. *Vliv místních odporů na tlakové ztráty v potrubí*. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupný z www: <http://www.tzb-info.cz/8514-vliv-mistnich-odporu-na-tlakove-ztraty-v-potrubí>
- [36] VILO, s.r.o. *Konstrukční řady od A do Z*. [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupný z www: <http://www.wilo.cz/cps/rde/xchg/cz-cs/layout.xsl/156.htm>
- [37] VILO, s.r.o. *Charakteristika čerpadla VILO Star – ST 15/11*. [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupný z www: [http://wilo-select.com/L2006/inner.asp?AW\\_MAKE=WILO&P\\_MAKE=WILO&TP\\_INE\\_TAPPL=WILO&IS\\_NEXTPAGE=winPumpDetailFromArtnr&TP\\_CHRS=\\*&L\\_LGG=CZECH&TP\\_ARTNR=4061442](http://wilo-select.com/L2006/inner.asp?AW_MAKE=WILO&P_MAKE=WILO&TP_INE_TAPPL=WILO&IS_NEXTPAGE=winPumpDetailFromArtnr&TP_CHRS=*&L_LGG=CZECH&TP_ARTNR=4061442)
- [38] VRTEK, Mojmír. *EmiseSFZP.doc*. Katedra energetiky VŠB – TU Ostrava [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupný z www: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ\\_Dipl\\_ENV/](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ_Dipl_ENV/)
- [39] Tabulky a výpočty. *Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-116]. Dostupný z www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapeni-podle-druhu-paliva>
- [40] Tabulky a výpočty. *Výhřevnost paliv*. TZB-info [online]. [cit. 2012-05-116]. Dostupný z www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>

## 10. Seznam příloh

### Přílohy:

- Příloha A: Stanovené tepelné ztráty jednotlivých místností dle ČSN 06 0210  
Příloha B: Objem vytápěných místností a střední teploty místností v domě  
Příloha C: Potřeba tepla na přípravu teplé vody  
Příloha D: Potřeba tepla na vytápění  
Příloha E: Charakteristiky energetických bilancí  
Příloha F: Náklady na instalaci solárního systému

### Výkresy:

- |                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| DVO-135-1/xxx       | PŮDORYS – PŘÍZEMÍ              |
| DVO-135-2/xxx       | PŮDORYS – 1 PATRO              |
| DVO-135-3/xxx       | PŮDORYS – SUTEREN              |
| DVO-135-4/list1     | POHLEDY NA DŮM                 |
| DVO-135-4/list2     | POHLEDY NA DŮM                 |
| DVO-135-5/list1/3   | AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK – sestava  |
| DVO-135-5-K/list2/3 | AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK – kusovník |
| DVO-135-5-K/list3/3 | AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK – kusovník |
| DVO-135-6/xxx       | SCHÉMA SYSTÉMU                 |
| DVO-135-7/xxx       | DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ              |

CD příloha: CD – ROM vložené v deskách diplomové práce